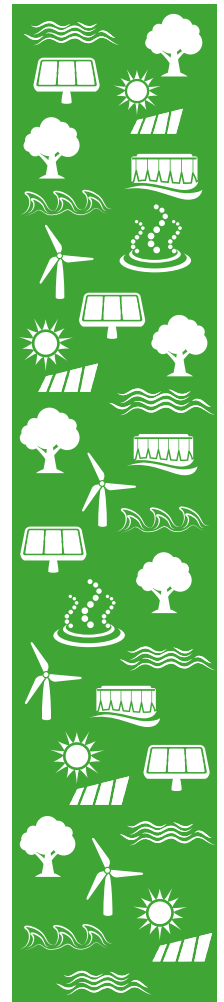


# Obnoviteľné zdroje energie – s chladnou hlavou

David J. C. MacKay



**EURÓPSKA ÚNIA**  
EURÓPSKY FOND REGIONÁLNEHO ROZVOJA  
INVESTÍCIA DO VAŠEJ BUDÚCNOSTI





# **Obnovitelné zdroje energie – s chladnou hlavou**

David J. C. MacKay

*Pátranie po bezpečnom a trvalo udržateľnom zdroji energie predstavuje jednu z najväčších výziev našej doby. Je však otázne, koľko energie potrebujeme a či ju dokážeme získať z obnoviteľných zdrojov všetku. David MacKay sa pokúsil získať odpovede podrobnou číselnou analýzou našej spotreby a výroby. Jeho závery neúprosne odhaľujú ťažké voľby, ktoré musíme uskutočniť; pre čitateľov so záujmom o energetickú budúcnosť ľudstva to bude poučné čítanie. Pre každého, kto má vplyv na energetickú politiku, či už vo vláde, v obchode alebo neziskovej spoločnosti, by táto kniha mala byť povinná. Ide o fakticky presnú a ľahko čitateľnú správu o výzvach budúcnosti. Pôjde o kľúčovú referenciu v mojej knižnici mnoho nasledujúcich rokov.*

**Tony Juniper,**  
bývalý výkonný riaditeľ, Spoločnosť priateľov Zeme

*Napísané príťažlivou formou, s množstvom užitočných informácií a osviežujúco aktuálne.*

**Peter Ainsworth,**  
tieňový štátny tajomník pre životné prostredie, výživu a záležitosti vidieka

*David MacKay sa rozhodol vniesť svetlo do poloprávd, omylov a nezmyslov o klimatickej zmene a našich energetických potrebách, ktoré sa na nás len tak hrnú. Táto kniha je čitateľná, dostupná a dôkladná. Rozoberá nepodložené názory a privádza nás k faktom, ktoré hovoria samy za seba. Je to užitočný sprievodca pre laika aj pre odborníka. Srdečne ju odporúčam.*

**Graham Stuart,**  
poslanec

*Táto pozoruhodná kniha od experta v oblasti energetiky veľmi jasne a objektívne ukazuje rôzne možnosti naplnenia nízkouhlíkového spôsobu života, ktoré sú nám dostupné. Z týchto múdrych slov budú mať prospech tvorcovia legislatívy, výskumníci, súkromný sektor aj neziskové organizácie.*

**Sir David King,** člen Kráľovskej spoločnosti  
hlavný vedecký poradca britskej vlády 2000 - 2008

*Knihu som začal čítať včera. Aby som mohol pokračovať, nasledujúci deň som si zobral dovolenku. Je to skvelý, vtípný, zmysluplný, cenný kus práce a knihu usilovne posielam všetkým známym.*

**Matthew Sullivan,**  
Carbon Advice Group Plc

*Je to skutočne cenný príspevok k prebiehajúcej debate o energetickej politike. Autor používa presvedčivú kombináciu jednoduchej aritmetiky a sedliackeho rozumu a vyvracia niektoré mýty a posvätné pravdy. Kniha je nevy-*

*hnutnou príručkou pre každého so záujmom o energetiku a snahou pochopiť čísla.*

**Lord Oxburgh,**  
člen Kráľovskej spoločnosti  
bývalý predseda Royal Dutch Shell

*Je to skvelá kniha s osobitým štýlom a obrovským množstvom informácií.*

**Prof. David Newbery,** člen Britskej akadémie

*Denne počujeme toľko prázdnych rečí o klimatickej zmene a energetických systémoch, že nutne potrebujeme autoritatívnu štúdiu o tom, čo je a čo nie je skutočne možné na dosiahnutie trvalo udržateľnej energie. Ide o povinné čítanie nielen pre domácnosti a priemysel, ale pre každého ministra vo vláde, a to nielen vo Veľkej Británii.*

**Michael Meacher,** poslanec  
bývalý minister životného prostredia

*Kniha Davida MacKaya určuje štandard pre budúce debaty o energetickej politike a klimatickej zmene. Jeho oddanosť faktom a racionálnym argumentom je obdivuhodná v oblasti zavalovanej zo všetkých strán propagandou a zbožnými želaniami, aj keď jeho závery nakoniec zastarajú, tak ako pri všetkých vedeckých prácach, jeho prístup zostane aktuálny veľmi dlho.*

**David Howarth,**  
poslanec

*Rozhodnutia o obnoviteľnej energii, ktoré v nasledujúcich rokoch (ne)urobíme, určia dedičstvo pre budúce generácie. Ako dospejeme k racionálnym rozhodnutiam? Vo svojej knihe nám David MacKay nehovorí, ktorú cestu si zvolíť, ale ako. Základná aritmetika stačí na rozlíšenie medzi zmysluplnou stratégiou a snom. Každý, kto cíti zodpovednosť za budúcnosť našej spoločnosti, by si mal knihu prečítať.*

**Prof. Dan Frenkel,** člen Kráľovskej spoločnosti

*Absolútne potešujúce čítanie. Neobvykle jasné a príťažlivé.*

**Chris Goodall,**  
autor knihy Desť technológií pre záchranu planéty

*Kniha Davida MacKaya je intelektuálne uspokojivý, povzbudzujúci príspevok k pochopeniu komplexných záležitostí výroby a spotreby energie. Vyvracia citovo podfarbené nezmysly v energetickej politike a do rovníc dáva skutočné čísla. Mal by si ju prečítať každý, najmä politici.*

**Prof. Ian Fells,**  
nositeľ Radu britského impéria zakladajúci  
riaditeľ NaREC, Centra pre novú  
a obnoviteľnú energiu

Zabránenie klimatickému chaosu si bude vyžadovať dômyselné sociálne, ekonomické a technologické rozhodnutia, vychádzajúce z dobrých informácií. Ekonomické a sociálne zákony nie sú nemenné. Politici by mali prispôsobiť ekonomiku obnoviteľnej energii a viesť kultúrnu zmenu smerujúcu k šetreniu energie. MacKay nám však pripomína, že ani oni „nedokážu zmeniť zákony fyziky“! Samotná MacKayova kniha neponúka všetky odpovede, ale poskytuje dobrý základ a pomoc pre informované rozhodnutia jednotlivcov a čo je ešte dôležitejšie, aj celých spoločností.

**Duncan McLaren,**  
prezident, Priatelia Zeme, Škótsko

MacKay vnáša vítanú dávku sedliackeho rozumu do debaty o zdrojoch a využití energie. Čerstvý vzduch nahrádza ten horúci.

**Prof. Mike Ashby,** člen Kráľovskej spoločnosti  
autor knihy Materiály a životné prostredie

Kniha Davida MacKaya je súčasťou úsilia, ktoré všetci venujeme obnoviteľnej energii. Je cenná najmä tým, že sa navyše zameriava na spotrebu a výrobu energie. Obnoviteľné zdroje energie – s chladnou hlavou je rozsiahla výprava, ktorá poskytuje praktického sprievodcu aj odkazy na literatúru. Možno to vyznieva pre knihu o obnoviteľnej energii trochu ironicky, MacKayove čísla však ilustrujú výzvu, akou bude nahradenie fosílnych palív, a dokladajú tiež, prečo je také nevyhnutné šetriť energiu a hľadať nové technológie.

**Darran Mesem,**  
viceprezident Fuel Development Royal Dutch Shell

Už toľko sa napísalo o uspokojení energetických potrieb v budúcnosti, že by sa napísanie ďalšej užitočnej knihy zdalo nepravdepodobné, ale MacKay to dokázal. Je potešením čítať jeho knihu, ktorá osloví predovšetkým praktických ľudí s túžbou pochopiť, čo je a čo nie je v energetike dôležité. Podobne ako pred ním lord Kelvin, profesor MacKay si uvedomuje, že v mnohých oblastiach, a najmä v energetike, nie je možné javy správne pochopiť bez kvantifikácie. Preto je táto fascinujúca kniha aj studňou kvantitatívnych informácií pre tých, ktorí sa chcú rozprávať so svojimi priateľmi o výrobe a spotrebe energie dnes aj v budúcnosti.

**Dr. Derek Pooley,**  
nositeľ Radu britského impéria,  
bývalý hlavný vedec ministerstva energetiky,  
riaditeľ Britskej atómovej energie  
a člen poradenskej skupiny EÚ pre energetiku

Kniha, ktorá do podrobností ukazuje skutočné fakty o obnoviteľnej energii vo forme, ktorá je ľahko čitateľná

a zároveň zábavná. „Povinná literatúra“ pre všetkých, ktorí zohrávajú nejakú úlohu pri riešení klimatickej krízy.

**Robert Sansom,**  
riaditeľ strategického a trvalo udržateľného  
rozvoja EFD energia

Zúfalo potrebujeme znížiť našu závislosť od fosílnych palív a nájsť obnoviteľné zdroje energie. Ale väčšina diskusií sa nezakladá na faktoch o ich spotrebe a výrobe. Táto kniha medzeru vyplňa prístupnou formou a mala by byť v každej knižnici.

**Prof. Robert Hinde,** nositeľ Radu  
britského impéria, člen Kráľovskej spoločnosti  
a Britskej akadémie, Výkonný výbor, Pugwash UK

Áká úžasná kniha... Čítim sa lepšie, asi tak ako pacient s rakovinou, ktorý sa dozvedel všetko o svojej chorobe.

**Richard Procter**

Nádherne jasné a úžasne čitateľné.

**Prof. Wily Brown,**  
nositeľ Radu britského impéria

Knihu som otvoril a takmer už nezatvoril...

**Matthew Moss**

Sedliacky rozum, technická gramotnosť a pár výpočtov je dobrý spôsob, ako pomôcť čitateľovi rozlíšiť pravdu od výmyslov pri výzve rozvoja náhrady fosílnych palív. MacKay napísal vynikajúcu knihu zaoberajúcu sa naliehavým problémom.

**Prof. William W. Hogan Raymond Plank,**  
profesor globálnej energie  
John F. Kennedy School of Government,  
Harvardova univerzita

Väčšina vedcov v súčasnosti do určitej miery popiera realitu; vieme, že existencia ľudí bude v najbližšej budúcnosti čeliť obrovským problémom, ale väčšinou tieto problémy ignorujeme. Pokračujeme v práci na vedeckých problémoch, ktoré nás zaujímajú, a pokračovanie v tejto záľube zároveň prináša životný štýl náročný na emisie CO<sub>2</sub> s tým, ako potrebujeme odletieť na najbližšiu konferenciu. David MacKay však svojim kolegom ukázal, čo je potrebné robiť a využil svoj dôvtip, aby rozobral otázku, ako môžeme získať dostatok energie, aby sme mohli žiť tak ako doteraz. Je to naozaj jasná kniha, ktorá vyvracia mýty a zbožné priania, ktoré zahŕňujú cestu k využívaniu trvalo udržateľnej energie. Neprikazuje, ale núti čitateľa, aby poctivo premýšľal o našej spotrebe energie a o tom, ako je potrebné zmeniť životný štýl, aby bolo možné vyhovieť možnostiam alternatívnych zdrojov energie. Závery knihy sú v mnohých ohľadoch depresívne. Typický životný štýl Britov

výrazne prevyšuje množstvo energie, ktoré dokážu poskytnúť „neškodné“ zdroje, ako napríklad vodné elektrárne. To vedie diskusiu kontroverzným smerom, smerom k jadrovej energii. Veľa čitateľov bude prikladať vyšší význam ako MacKay možnosti rozsiahlej katastrofy, akou bol Černobyl. Hlavné však je, aby sme sa držali faktov, ako hovorí MacKay: „Nie som zástancom jadra. Som zástancom aritmetiky.“ Tento výrok sa výborne hodí na štýl celej knihy: na každej stránke sa nám dostane jasné (a často humorné) vysvetlenie limitov daného zdroja energie a zostáva len na čitateľovi, aby rozhodol, čo dáva zmysel. Veľmi dobré je, že kniha obsahuje aj množstvo dodatkov, ktoré sa venujú fyzikálnym základom výroby energie. Takže je nám hneď jasné, prečo lietanie už nebude príliš účinnejšie a že v dlhodobom horizonte sa budeme musieť naučiť žiť bez neho. To je nakoniec to, čo robí knihu inšpirujúcou viac ako depresívnou: intelektuálna zvedavosť, ktorá sa snaží pochopiť, ako veci fungujú, nám priniesla problémy technologickej spoločnosti, ale zároveň nám dala nástroje, aby sme našli možnú cestu von. Je povinnosťou každého, aby sa týmto problémom zaoberal a výborne napísaná kniha Davida MacKaya pomôže verejnosti aj vedcom, aby prišli na to, čo je potrebné urobiť.

Prof. John Peacock,  
člen Kráľovskej spoločnosti, kozmológ, riaditeľ  
astronomického inštitútu, Edinburgh University

Kniha profesora MacKaya by bola hodnotná už len pre informácie, ktoré obsahuje. Ide však tiež o veľmi dobré čítanie, pretože skrýva prekvapenia, ktoré po troške rozdáva čitateľovi. V časoch, keď sú záležitosti energetickej politiky a životného prostredia stredobodom medzinárodného záujmu, ale pri verejných diskusiách zároveň aj obľúbeným terčom dezinformácií a nereálnych plánov, MacKay veľmi ostro a jasne oddeľuje skutočnosť od nezmyslov. Rozoberá aj tie najkrajnejšie možnosti riešenia problémov energetiky a ukazuje, čo ešte je možné a čo už je len zbožné želanie. Robí to však natolko racionálnym štýlom, že odzbrojí aj toho najväčšieho pochybovača. Talent, ktorým dokáže vysvetliť problém zábavnou formou, spôsobil, že jeho študentom závidím, hoci prostredníctvom knihy všetci môžeme vidieť, ako tento naozaj úžasný štýl učenia vyzerá.

Tom Blees,  
autor knihy Prescription for the Planet – The Painless Remedy  
For Our Energy & Environmental Crises

Ako sa vlády snažia odvrátiť ekonomickú aj klimatickú krízu pomocou zelených podporných opatrení a financií – pritom zároveň podporujú spotrebu, ako aj náhly prechod od fosílnych palív k trvalo udržateľnej energii – nemohla sa kniha Davida MacKaya objaviť v lepšom okamihu. Na základe princípov presnej, kvantitatívnej analýzy bez zveličovania, vysvetľuje

jasne a výstižne väčšinu informácií, ktoré potrebujú politici vedieť, aby sa mohli v energetickej politike správne rozhodovať. Mali by si ju prečítať všetci politici rozhodujúci v oblasti energetiky a podnebia.

Robert Bailey,  
seniorský poradca pre politiku, Oxfam, Veľká Británia

Považujem túto knihu za úplne dokonalú a odporúčam ju takmer dotieravo každému, s kým som sa nedávno rozprával o „obnoviteľnej energii“. Kapitoly ku koncu (27, 28, 29, 32) sú veľmi, veľmi podnetné. Nedostatok politického odhodlania v tejto oblasti je odsúdeniahodný a pri čítaní rozporných vyjadrení Tonyho Blaira mi v žilách vrela krv!

David Howey,  
Nový Zéland

Kniha Davida MacKaya o obnoviteľnej energii predstavuje úplný zdroj pre zhodnotenie jednotlivých možností výroby energie a jej účinnejšej spotreby. Učitelia, študenti a všetci inteligentní obyvatelia tu nájdu všetky prostriedky, aby mohli rozumne premýšľať o trvalej udržateľnosti. Detailne a pomocou čísiel rozoberá solárnu, veternú, prílivovú a veľa ďalších technológií tak, že je možné ich medzi sebou kvantitatívne porovnať. Či už vás zaujíma rozumné presadzovanie určitej technológie, alebo zníženie vlastnej spotreby energie, táto kniha je dobrý začiatok. Jej závery vychádzajú zo základných princípov fyziky, ktoré prehľadne vysvetľujú technické kapitoly na konci knihy. Takže kniha je takisto názorná ukážka toho, ako je možné využiť základné poznatky vedy pri kľúčových rozhodnutiach v energetike v nasledujúcich desaťročiach. Ide o najdôležitejšiu knihu, ktorá využíva vedu pre dôležitú problematiku verejnosti, akú som tento rok čítal.

Prof. Jerry Gollub,  
fyzik, Haverford College a Pensylvánska univerzita,  
člen Americkej národnej akadémie vied

MacKayova kniha patrí medzi najviac názorné, analytické a dobre napísané knihy o energii, aké som kedy videl. Prostredníctvom erudovaného, ale žartovného kvantitatívneho prístupu MacKay osvetľuje obrovské výzvy, ktoré sa spájajú s možnými cestami využitia obnoviteľnej energie. Táto hrdinská práca sa stavia k energetickým výzvam priamo a sleduje fyzikálne limity okolitého sveta, s ktorými musíme pracovať. MacKay tak prináša kreatívne a užitočné nástroje, pomocou ktorých dokážeme kvantifikovať, vizualizovať a porovnať energetické možnosti na úrovni jednotlivcov a sami rozhodujeme, čo je zmysluplné. Ako pri obľúbti tváre studenou vodou nás táto kniha prebúdzá z opojenia fosílnymi palivami a jasne ukazuje, že sa musíme dať do práce, ak si chceme náš energeticky náročný životný štýl zachovať.

Doc. Tom Murphy, fyzik, San Diego

Každý, koho zaujíma prežitie ľudstva, by si mal túto knihu prečítať. Je naplnená faktami a štatistikami o riešeníach a ukazuje, že sa musíme prestať hádať, ktoré riešenie je najlacnejšie alebo najlepšie, pretože ich potrebujeme všetky. Čítam knihy o energii a klimatickej zmene už 20 rokov a táto je z nich najlepšia.

**Stephen Tindale,**  
spoluzakladateľ Climate Answers, bývalý výkonný riaditeľ  
Greenpeace vo Veľkej Británii

Klimatická zmena je skutočná. Klimatická zmena prebieha. Komu veríte, že ju vyrieši – politici, obchodníci, zelená lobby? Neverím nikomu z nich. Dobrá správa je, že už sa na nich viac spoliehať nemusíme. David MacKay vo svojej výbornej knihe *Obnoviteľné zdroje energie – s chladnou hlavou* ukazuje, ako odlíšiť skutočnosť od zavádzania, takže sa môžeme sami rozhodnúť, kto hovorí pravdu a kto si ju prispôsobuje vlastným záujmom. Je to povinné čítanie pre každého, kto chce pomôcť vyliečiť svet.

**Carol Atkinsonová,**  
generálna riaditeľka BRE Global

*Obnoviteľné zdroje energie – s chladnou hlavou* je vynikajúca kniha. V nej nájdeme argumenty vychádzajúce zo spoľahlivých údajov, prostredníctvom ktorých si osvojíme trvalo udržateľný prístup, potrebný pre zásobovanie ľudí energiou. Údaje, ktoré sú tak často zle interpretované a nepochopené, tu autor pozorne a detailne zhrnul. Z nich vychádza jasná a objektívna analýza jednotlivých zdrojov energie, ktorá pomáha ľuďom pri rozhodnutiach o jej využívaní. Kniha je hodnotná už len pre zdroje informácií, ktoré obsahuje. Tie spolu s hravým a prístupným štýlom argumentovania Davida MacKaya z knihy robia potrebnú a užitočnú knihu pre odborníkov, ako aj laikov.

**Dr. Mike Sheppard,**  
člen Schlumbergerovej nadácie Cambridge

Rozhovory, noviny a komisie ma často nútia uvažovať: „Sú to iba fyzici, ktorí sa zaujímajú o to, aké dôležité, či zásadné sú problémy?“ Tu sú ľahko stráviteľné čísla a spotreba a dostupnosť energie. Fantastický úspech.

**Prof. Volker Heine,**  
člen Kráľovskej spoločnosti

Táto fascinujúca, provokatívna a realistická kniha sa drží svojho nadpisu a dáva nám návod na jasné uvažovanie o klimatickej zmene.

**Sir John Sulston,**  
nositeľ Nobelovej ceny,  
riaditeľ Ústavu vedy, techniky a inovácií,  
univerzita v Manchestri

Jedna z hlavných tém výbornej MacKayovej knihy je, že časté úslovie „každý kúsok pomáha“ je vo svete energie úplný nezmysel, kde: „Ak každý urobí málo, spolu dosiahneme iba málo.“ Namiesto toho potrebujeme, a to rýchlo, energiu solárnu, veternú, prílivovú, jadrovú a pod., aj to s neistým výsledkom. Ide skutočne o významnú knihu a naliehavú výzvu k činu, ktorá búcha na dvere, že tento problém je obrovský. Ťažko v nej nájdete demagógiu. Čitateľom sa odporúča urobiť si vlastné závery po tom, čo pomocou jednoduchých výpočtov zistili, ako každé závažnejšie vyhlásenie naozaj zodpovedá skutočnosti. Ak by si túto knihu prečítalo dosť ľudí, a to čím skôr, bol by to prvý krok smerom k záchrane.

**Prof. Wolfgang Rindler,**  
fyzik, Texaská univerzita v Dallase

Ak by každý žil tak ako my na Západe, potrebovali by sme tri planéty na uspokojenie našich potrieb. Nemusíte byť popredný vedec, aby ste si uvedomili, že to nie je trvalo udržateľné. Je však také lákavé to ignorovať. Ľudia, ktorí budú najviac trpieť pre naše rozhadzovačné vyčerpávanie zdrojov, sú tí na druhom konci sveta, v subsaharskej Afrike a Ázii a naše ešte nenarodené deti a vnúčatá. Nevidíme ich a nemyslíme na nich. Ospravedľujeme naše konanie tvrdením, že nevyhnutný technologický pokrok prinesie riešenie. Nebudme Spasiteľmi, tvrdíme. Vo svojej knihe nás David MacKay vracia späť na zem. Pomocou základnej fyziky ukazuje, ako funguje svet a definuje, čo je a čo nie je možné. To všetko vzťahuje na jednotlivcov, na každého z nás a ukazuje tým, ako môžeme dosiahnuť významné úspory v spotrebe. Čelíme naliehavému problému vyčerpania zásob energie v najbližších desaťročiach a už dnes potrebujeme radikálne riešenia. Pred sebou máme úžasnú knihu, ktorá ponúka cesty vpred, oživenú humorom a osobnými skúsenosťami. Aby ste ju prečítali a pochopili, nepotrebujete byť prvotriednym vedcom: ale ak ním ste, všetky rovnice a referencie, ktoré potrebujete, nájdete na konci knihy.

**Prof. Bob White,** člen Kráľovskej spoločnosti  
geofyzik, Univerzita Cambridge

Energetická politika je pre svet kľúčová a široká verejnosť by sa do debaty a rozhodnutí mala zapojiť. Takáto debata však musí vychádzať z realistických čísel a dobrej fyziky. V knihe sú jasne a zrozumiteľne vysvetlené všetky kľúčové okolnosti. Napísaním knihy vykonal David MacKay veľkú službu pre spoločnosť.

**Prof. Martin Rees,** člen Kráľovskej spoločnosti  
astronóm, prezident Kráľovskej spoločnosti

Takúto knihu sme potrebovali veľmi dlho. Je to kniha, ktorá rozoberá energiu od základov, demystifikuje prevládajúcu literatúru a robí tak zrozumiteľne. Malo by ísť o prvý krok

pre každého, kto sa snaží porozumieť princípom obnoviteľnej energie.

Prof. Peter Guthrie,  
držiteľ Radu britského impéria, člen Kráľovskej  
spoločnosti, riaditeľ spolku Inžinierov bez hraníc

Kniha Obnoviteľné zdroje energie – s chladnou hlavou jasne ukazuje vedecké pozadie správ o energii. Je to spoľahlivý sprievodca pre odborníkov aj začiatočníkov.

Prof. Daniel Kammen,  
Berkeley

Je to jedna z najlepšie napísaných kníh o energetike. Štýl je jasný a pútavý. Autor veľmi dobre volí grafy a obrazové prílohy, takže vytvárajú vynikajúci, plastický prehľad o tematike. Neupadá do bežnej pasce technicky vzdelaných ľudí, ktorí sa domnievajú, že čím viac čísel uvedú, tým bude obrázok jasnejší. Sebadiisciplínu má v tom zmysle, že starostlivo zvažuje, koľko faktov je čitateľ schopný uniesť. Farebné a grafické prepojenie textu a obrázkov by mohlo byť vzorom pre väčšinu podobných kníh. Na druhej strane ide o nebezpečnú knihu a zradný prístup, pretože ukazuje iba polovicu problematiky, teda koľko obnoviteľných zdrojov sme schopní využiť, ale už sa nezmieňuje o tom, ako to ovplyvní prenosovú sústavu, či poriadne nerozvedie podporné prostriedky. Veď každá kapacita vetra alebo slnka musí byť zálohovaná buď tepelnou elektrárnou alebo modernou jadrovou elektrárnou. Tu autor, žiaľ, používa rovnaký prístup ako bežné priemyselné loby, a tým je výber iba tých pozitívnych informácií.

RNDr. Václav Cílek, CSc.,  
riaditeľ Geologického ústavu AV ČR

Napriek všetkému, čo bolo nedávno napísané o úsporách, pôvode a spotrebe energie a o množstve vypúšťaného CO<sub>2</sub> jej výrobou, získať jasný pohľad na situáciu je ťažké. Nová kniha Davida MacKaya ponúka systém, ktorý ľudia potrebujú pre skutočné pochopenie tejto kriticky dôležitej témy.

Bill Gates,  
zakladateľ spoločnosti Microsoft

Spomedzi mnohých kníh, ktoré som na túto tému čítal, je táto najpresvedčivejšia a najvýstižnejšia. Excelentné dielo, dokonalá kombinácia formy a obsahu. To by bolo uspokojujúce, ak by to zároveň neodhaľovalo závažnosť problému. Kniha je naozaj veľmi dojímavá, s nádychom hrozacej tragédie: vzhľadom na časovú náročnosť a rozsah výzvy. Skúška správnej reakcie je zastrašujúca. Kríza má stále nádech nereálnosti – nič viditeľné sa zatiaľ nestalo – a zároveň je rovnako nevyhnutná, ako sa nám dnes javí prvá a druhá svetová vojna. Hlavný prínos spočíva v porovnaní možností jednotlivých druhov energie jednotným a veľmi jasným spôsobom, s presvedčivou presnosťou. Najmä projekt DESERTEC (využívajúci solárnu energiu na Sahare) ukazuje obrovské úsilie, ktoré dokážu vyvinúť vlády – najmä ak si uvedomujú rozsah problémov. Bude si to vyžadovať snahu národov porovnateľnú so svetovými vojnami, aby sme sa s problémami vyrovnali – musíme však urobiť niečo hmatateľné, čo poslúži ako štartový bod. Ide o také riešenia, ktoré jednotlivé národy zvládajú dobre. Ide o rozsah podobný vybudovaniu automobilového priemyslu a elektrickej siete. Ak sa nám to celkom nepodarí, ak sa budeme musieť uskrtniť, stále máme možnosť adaptovať sa.

Prof. Avner Offer,  
historik, ekonóm, Oxford College



# Obnoviteľné zdroje energie – s chladnou hlavou

David J. C. MacKay



**EURÓPSKA ÚNIA**  
EURÓPSKY FOND REGIONÁLNEHO ROZVOJA  
INVESTÍCIA DO VAŠEJ BUDÚCNOSTI



*Vydanie slovenského prekladu je financované z prostriedkov Európskeho fondu regionálneho rozvoja a štátneho rozpočtu SR prostredníctvom Operačného programu Konkurencieschopnosť a hospodársky rast.*

Copyright © 2009 David J. C. MacKay  
Sustainable Energy - without the hot air  
UIT Cambridge Ltd., PO Box 145, Cambridge, CB4 1GQ, Anglicko  
www.uit.co.uk

David J. C. MacKay si vyhradzuje právo na autora tejto knihy v súlade s autorským právom, vývojom a patentovým aktom z roku 1988.

Aj keď zámerom tejto publikácie je poskytnutie presných a zodpovedných informácií v súvislosti s predkladanou problematikou, ani autor, ani vydavateľ sa nevyjadrujú (explicitne, či implicitne) k presnosti informácií uvádzaných v tejto knihe a neprijímajú žiadnu legálnu zodpovednosť alebo ručenie za chyby alebo neúplné údaje, ktoré sa môžu v knihe vyskytnúť. Túto prácu podporila UIT Cambridge Ltd. s tým, že autori prezentujú rôzne informácie, ale nepokúšajú sa o poskytnutie technických riešení alebo iných profesionálnych služieb. V prípade potreby takýchto služieb je vhodné obrátiť sa na subjekt, ktorý ich dokáže odborne zabezpečiť.

Prekladatelia: Mgr. Alexander Ač, PhD. (Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Brno), Ing. Jozef Rusnák, PhD.

Odborní editori: Ing. Pavol Kosa, Ing. Ján Magyar, Ing. Pavel Starinský, Ing. Lucia Rajničová, PhD., Ing. Peter Štibraný (Slovenská inovačná a energetická agentúra).

Editorky slovenského prekladu: Mgr. Sylvia Pálková, Ing. Marcela Škubalová (Slovenská inovačná a energetická agentúra).

Za významnú pomoc pri preklade ďakujeme: RNDr. Janovi Hollanovi (Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v. i., Brno).

Vydavateľ slovenského prekladu:  
Slovenská inovačná a energetická agentúra, Bratislava, 2013

ISBN 978-80-88823-54-4

*Pre tých, ktorí nezažijú výhody  
zásob energie nahromadenej  
v priebehu dvoch miliárd rokov.*

# *Predslov k slovenskému vydaniu*

Hoci túto knihu hodnotí viacero významných osobností z celého sveta takmer jednoznačne pozitívne, rád by som čitateľa upozornil na neobvyklý spôsob a formu, s akou sú informácie v tejto knihe prezentované.

Autor veľmi originálne narába s energetickými termínmi ako energia alebo výkon. Niekoho môže vyrušovať aj ľahkosť, s akou miestami zaokrúhľuje hodnoty. No s odstupom času mu toto zjednodušovanie väčšina čitateľov zrejme odpustí, keďže jeho zámerom je, aby si čitateľ jednotlivé pomery a princípy ľahko zapamätal.

Zaujímavý je najmä štýl spracovania pomerne zložitých súvislostí používania energie vo všetkých formách a zdrojových možnostiach. Je veľmi odľahčený a čo je podstatné – zrozumiteľný aj laikom. Autor túto knihu písal aj ako podklad pre politikov, ak by sa chceli danou problematikou zaoberať a získať aspoň základný prehľad o možnostiach obnoviteľných zdrojov energie.

Aj keď sa analytická časť knihy venuje priestoru Veľkej Británie, v zásade je možné použiť princípy, hodnotenie a výstupy kdekoľvek inde.

Preto odporúčam prečítať si túto knihu všetkým, ktorí sú alebo chcú byť aktívni v oblasti energetiky v najbližšej budúcnosti.

Z faktov uvedených v knihe vyplýva, že zabezpečenie energetických súvislostí existencie ľudstva treba chápať komplexne a hlavne v kontexte všetkých ostatných súčastí života. Čiže s chladnou hlavou, aj keď sa každá forma energie nakoniec premení na teplo!

Ing. Pavol Kosa, Slovenská inovačná a energetická agentúra  
február 2012

*Po prvý raz bola táto publikácia preložená do slovenčiny vďaka projektu British Council s názvom Challenge Europe. Preklad bol k dispozícii už začiatkom roka 2010, ale len v elektronickej podobe na internete.*

*Prvé knižné vydanie s revidovaným prekladom vychádza vďaka projektu ŽIŤ ENERGIU, v rámci ktorého Slovenská inovačná a energetická agentúra poskytuje bezplatné odborné energetické poradenstvo. Projekt je financovaný z prostriedkov Európskeho fondu regionálneho rozvoja a štátneho rozpočtu SR prostredníctvom Operačného programu Konkurencieschopnosť a hospodársky rast.*

*Elektronická verzia slovenského prekladu knihy je k dispozícii na stránke [www.siea.sk](http://www.siea.sk).*

# Predslov

## O čom je táto kniha?

Obávam sa, že plánované znižovanie emisií vo Veľkej Británii sú len prázdne slová – táranie o využití obnoviteľných zdrojov. Každý tvrdí, že zbaviť sa závislosti na fosílnych palivách je dôležité a všetkým nám odporúčajú, aby sme prispeli, ale mnohé z týchto odporúčaných krokov jednoducho nedávajú zmysel.

Prázdnych slov je dnes veľa, pretože ľudia podliehajú emóciám (napríklad pre veternú alebo jadrovú energiu) a nikto nehovorí o číslach. Ak už niekto spomenie čísla, zvolí ich tak, aby zneli pôsobivo a hrali do kariet predkladaným argumentom, namiesto toho, aby boli zmysluplným príspevkom do diskusie.

Toto je jednoduchá a priamočiara kniha zameraná na čísla. Jej cieľom je previesť čitateľa pomedzi prázdne slová a doviest' ho k činom, ktoré skutočne niečo zmenia, a k opatreniam, ktoré naozaj majú zmysel.

## Táto kniha je zadarmo

Knihu som nepísal pre peniaze. Napísal som ju, pretože obnoviteľné zdroje energie sú dôležité. Ak chcete knihu bezplatne, nie je problém: nájdete ju na internetovej stránke [www.withouthotair.com](http://www.withouthotair.com).

Knih je zadarmo aj z iného dôvodu: môžete zadarmo využívať všetky jej materiály, okrem kresieb a fotografií s menami fotografov, podľa licencie Creative Commons Attribution-Non-Commercial-Share-Alike 2.0 UK: England & Wales Licence; (kresby a fotografie nie je možné šíriť, pretože autori mi povolili iba použiť ich diela, ale nie zdieľať ich podľa Creative Commons Licence). Privítam, ak čitatelia budú používať materiály najmä na vzdelávacie účely. Moje internetové stránky obsahujú samostatné súbory s vysokou kvalitou každého obrázku uverejneného v knihe.

## David J. C. MacKay pre slovenskú verziu knihy

Neviem o tom, že by za necelé tri roky od vydania knihy Obnoviteľné zdroje energie – s chladnou hlavou boli objavené nejaké nové fyzikálne zákony. Energiu stále nemožno vyrobiť ani zničiť; teplo stále neprúdi od chladnejších k teplejším predmetom a dva plus dva sú stále štyri. Preto dúfam, že jednoduché a približné výpočty v tejto knihe zostanú užitočné. Veľmi ďakujem Alexandrovi Ačovi a Jozefovi Rusnákovi za preklad knihy do slovenčiny. Pozývam všetkých čitateľov, ktorí by radi zlepšili argumenty knihy, aby prispeli ďalšími údajmi, novými modelmi, alebo lepšou analýzou k wiki verzii knihy na <http://www.withouthotair.com/Wiki.html>. Ďakujem veľmi za prečítanie!

## Ako s knihou pracovať

Niektoré kapitoly sa začínajú výrokom. Prosím, majte na pamäti, že zvolené výroky neznamenajú, že s nimi súhlasím. Premýšľajte o nich skôr ako o výzvach, hypotézach, ktoré majú byť podrobené kritickému rozboru.

Mnohé z úvodných kapitol (s číslami 1, 2, 3...) majú svoje pokračovanie v technických kapitolách (A, B, C...) k nim priradených. Tieto technické kapitoly sa začínajú na strane 254.

Na konci každej kapitoly sú ďalšie poznámky a odkazy na zdroje a referencie. Domnievam sa, že poznámky pod čiarou pôsobia rušivo, ak zasahujú do hlavného textu, takže v tejto knihe ich nenájdete. Ak sa bez nich nezaobídete, pridajte ich – takmer každé zásadnejšie tvrdenie v texte obsahuje odkaz na konci s odporúčaním na ďalšiu literatúru.

V texte takisto nájdete odkazy na internetové zdroje. Ak je odkaz príliš dlhý, využil som službu TinyURL a vložil som skrátený kód odkazu do textu, napr. – [yh8xe] – a celý odkaz na konci knihy na strane 344. yh8xe je skratka pre tiny URL, v tomto prípade <http://tinyurl.com/yh8xse>. Úplný zoznam všetkých použitých URL v tejto knihe nájdete na <http://tinyurl.com/yh8xse>. Ak zistíte, že odkaz už nefunguje, môžete nájsť stránku v internetovom archíve Wayback Machine [f754].

Privítam akékoľvek pripomienky a opravy. Uvedomujem si, že občas dôjde k chybám, v skorších verziách knihy som sa v niektorých číslach mylil až dvojnásobne. Aj keď dúfam, že chýb v knihe je menej a sú menej závažné, pravdepodobne budem tieto čísla priebežne meniť spolu s tým, ako budem zisťovať nové fakty o obnoviteľnej energii.

Ako citovať túto knihu:

**David J. C. MacKay.** *Obnoviteľné zdroje energie – s chladnou hlavou.* Slovenská inovačná a energetická agentúra, 2012. ISBN 978-80-88823-54-4. Voľne dostupná na: [www.siea.sk](http://www.siea.sk).

Podľa anglického originálu:

**David J. C. MacKay.** *Sustainable Energy – without the hot air.* UIT Cambridge, 2008. ISBN 9780954452933. Voľne dostupná na [www.withouthotair.com](http://www.withouthotair.com).

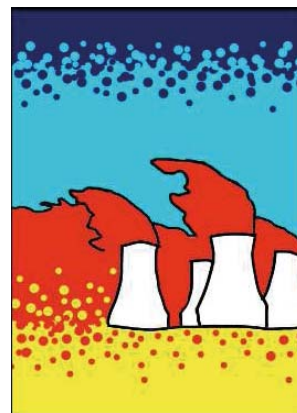
# Obsah

<b>I Čísla, nie prívlastky .....</b>	<b>1</b>
1 Motivácia .....	2
2 Rovnováha .....	22
3 Autá.....	29
4 Vietor.....	32
5 Lietadlá .....	35
6 Slnko.....	38
7 Ohrev a chladenie.....	50
8 Voda .....	55
9 Svetlo .....	57
10 Vietor na mori .....	60
11 Elektrické spotrebiče.....	68
12 Vlny.....	73
13 Jedlo a poľnohospodárstvo .....	76
14 Príliv a odliv .....	81
15 Výrobky.....	88
16 Geotermálna energia.....	96
17 Verejné služby.....	100
18 Dokážeme žiť z obnoviteľných zdrojov? .....	103
<b>II Skutočná zmena .....</b>	<b>113</b>
19 Každá VEĽKÁ VEC pomáha.....	114
20 Lepšia doprava .....	118
21 Lepšie vykurovanie.....	140
22 Efektívne používanie elektriny.....	155
23 Trvalo udržateľné fosílné palivá? .....	157
24 Jadrová energia?.....	161
25 Dovoz obnoviteľných zdrojov z iných krajín? .....	177
26 Fluktuácie a uskladnenie energie .....	186
27 Päť energetických plánov pre Veľkú Britániu.....	203
28 Náklady v perspektíve .....	214
29 Čo robiť teraz .....	222
30 Energetické plány pre Európu, Ameriku a svet.....	231
31 Posledná vec, o ktorej by sme mali hovoriť.....	240
32 Povedať áno .....	250
PodĎakovanie.....	251

<b>III</b>	<b>Technické kapitoly</b> .....	<b>253</b>
A	Autá II .....	254
B	Vietor II .....	263
C	Lietadlá II .....	269
D	Slnko II .....	283
E	Vykurovanie II .....	289
F	Vlny II .....	307
G	Prílív a odliv II.....	311
H	Výrobky II .....	322
<b>IV</b>	<b>Užitočné údaje</b> .....	<b>327</b>
I	Rýchle odkazy.....	328
J	Populácie a rozlohy.....	338
K	História energie Veľkej Británie .....	342
	Zoznam internetových odkazov.....	344
	Bibliografia .....	348
	Index .....	355
	O autorovi .....	366



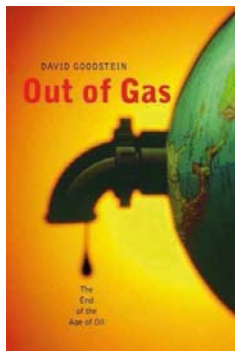
Časť I  
Čísla, nie prívlastky



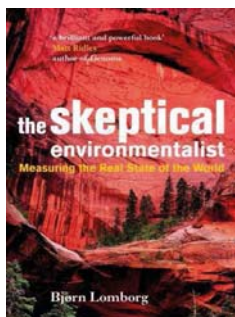
# 1 Motivácia

*Žijeme v čase veľkej ignorancie vedy, kedy prevládajú emócie a pocity nad pravdou.*

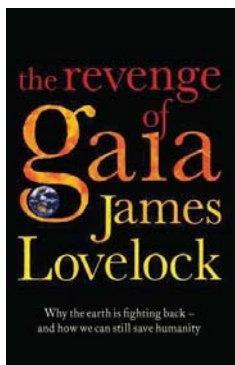
James Lovelock



David Goodstein  
Bez paliva (2004)



Bjørn Lomborg  
Skeptický ekológ (2001)



Pomsta planéty Gaia: Prečo sa Zem bráni – a ako ešte môžeme zachrániť ľudstvo  
James Lovelock (2006). © Allen Lane

Nedávno som čítal dve knihy, jednu napísal fyzik a druhú ekonóm. V knihe *Bez paliva* fyzik z Kalifornského technologického inštitútu (Caltech) David Goodstein opisuje nadchádzajúcu energetickú krízu spôsobenú koncom éry ropy. Táto kríza príde čoskoro, predpovedá Goodstein: kríza bude bolestivá, ale nie v čase, keď vyťažíme poslednú kvapku ropy, ale v čase, keď ťažba ropy nebude stačiť na pokrytie dopytu – možno už v rokoch 2015 alebo 2025. Navyše, ak by sa nám nejakým magickým spôsobom okamžite podarilo prejsť z ropy na jadrovú energiu, hovorí ďalej v knihe, ropnú krízu by jednoducho nahradila kríza jadrová v priebehu približne 20 rokov, keďže zásoby uránu sa tiež vyčerpajú.

V *Skeptickom ekológovi* Bjørn Lomborg vykresľuje celkom odlišný vývoj v štýle „všetko je v poriadku“. Dokonca sa v skutočnosti situácia ustavične zlepšuje. Ďalej sa dozvedáme, že nám nehrozí výraznejšia energetická kríza, lebo energie je dostatok.

Ako je možné, že dvaja inteligentní ľudia dospeli k takým rozdielnym záverom? Musel som teda zistiť, ako to je.

V roku 2006 sa téma energie dostala aj na predné stránky britských novin. Hrozba klimatickej zmeny a strojnásobenie cien zemného plynu za posledných 6 rokov rozprúdili búrlivú debatu. Ako by mala Veľká Británia zabezpečiť obyvateľom energiu? Ako by to mal urobiť svet?

„Veterná či jadrová?“ znie jedna z otázok. Ťažko si predstaviť väčšiu rozpoltenosť názorov expertov v nejakej inej problematike. V diskusii o navrhovanej koncepcii rozvoja jadrovej energie povedal Michael Meacher, bývalý minister životného prostredia: „Ak chceme znížiť emisie skleníkových plynov o 60 %... do roku 2050, nemáme inú možnosť, len s pomocou obnoviteľných zdrojov.“ Sir Bernard Ingham, bývalý štátny zamestnanec, zástanca jadrovej energie, povedal: „Každý, kto sa spolieha na to, že nám obnoviteľné zdroje zabezpečia dostatok (energie), žije v inom svete a je podľa môjho názoru nepriateľom ľudí.“

Podobné rozpory môžeme pozorovať aj vnútri ekologického hnutia. Všetci sa zhodnú, že *niečo* je potrebné nevyhnutne urobiť, ale čo? Jonathon Porritt, predseda komisie pre obnoviteľný rozvoj, píše: „Dnes neexistuje opodstatnenie na uprednostňovanie plánov pre nový jadrový program a... akýkoľvek takýto plán by bol v rozpore s (vládnou) stratégiou trvalo udržateľného rozvoja.“ A ďalej: „Stratégia bez jadra by mohla a mala byť dostatočná na dosiahnutie úspor fosílnych palív, ktoré budeme potrebovať do roku 2050 a neskôr.“ Naopak, ekológ James Lovelock v knihe *Pomsta planéty Gaia* píše: „Dnes už je neskoro na zavedenie trvalo udržateľného rozvoja.“ Podľa neho je energia z jadrového štiepenia, aj keď nie ako dlho-

dobá záchrana pre našu sužovanú planétu, „jediná dostupná a efektívna liečba, ktorú dnes máme“. Veterné turbíny sú „iba... gestom, ktoré má ukázať ekologické úmysly (našich politikov)“.

Celá táto debata je principiálne iba o číslach. Koľko energie dokážu jednotlivé zdroje poskytnúť, pri akých ekonomických a sociálnych nákladoch a pri akých rizikách? O aktuálnych číslach sa však hovorí iba málokedy. Pri diskusiách ľudia hovoria iba „jadrová energia je príliš drahá“ alebo „vietor a vlny sú *obrovské*“. Problém s takýmto štýlom argumentácie je v tom, že nám nestačí vedieť, že niečo je *obrovské*, potrebujeme vedieť, aké je to obrovské v porovnaní s iným obrovským, a to konkrétne s *našou obrovskou spotrebou*. Aby sme dokázali porovnávať, potrebujeme čísla, nie prívlastky.

A keď sa aj používajú čísla, sú také obrovské, že ich význam je nejasný. Čísla sú volené tak, aby vyvolali dojem a získali podporu namiesto toho, aby informovali. „Obyvatelia Los Angeles prejdú autom 227 miliónov kilometrov – vzdialenosť medzi Zemou a Marsom – každý deň.“ „Každý rok je zničených 110-tisíc štvorcových kilometrov tropického dažďového lesa.“ „Každý rok sa vyhodí 14 miliárd libier odpadu do oceánu.“ „Briti odhodia 2,6 miliardy krajcov chleba každý rok.“ „Množstvo vyhodenejho papiera vo Veľkej Británii by naplnilo 103 448 poschodových autobusov.“

Ak by sa všetky neefektívne návrhy riešenia energetickej krízy poukladali za sebou, dosiahli by na Mesiac a späť..., ale to už som odbočil.

Áký je výsledok nedostatku zmysluplných čísel a faktov? Že sme zaplavení množstvom nezmyslov a hlúposti. BBC odporúča spôsob, akým môže každý z nás prispieť k záchrane sveta – napríklad „odpojte zo siete nabíjačky mobilných telefónov, keď ich nepoužívate“; ak niekto namietne, že nabíjačky mobilov *nie sú* číslom jeden v spotrebe energie, objaví sa heslo: „Každá úspora je dobrá.“ Každá úspora je dobrá? Realistickejšie je heslo:

*Ak každý urobí málo, všetci dosiahneme iba málo.*

Aj firmy prispievajú k pravidelnej dávke hlúposti vtedy, keď nám hovoria, aké sú dokonalé alebo ako nám pomôžu s „naším kúskom pomoci“. Napríklad internetová stránka BP (British Petroleum) vyzdvihuje zníženie emisií skleníkových plynov (CO<sub>2</sub>). Mali by ich dosiahnuť zmenou náteru, ktorým maľujú svoje lode. Verí tomu niekto? Určite je každému jasné, že emisie nie sú otázkou farby, ale otázkou nákladu tankera – a nemal by ten zaujímať spoločnosť, ak chceme dosiahnuť významné zníženie emisií CO<sub>2</sub>? Na stránkach BP takisto možno nájsť rozhrášenie pre vašu uhlíkovú stopu, na „targetneutral.com“, kde sa dozviete, ako je možné „neutralizovať“ všetky vaše emisie CO<sub>2</sub> a „Zem to nič nestojí“. To všetko iba za 40 libier ročne. Ako je to možné?! Ak by to bola pravda, vláda by dokázala vyriešiť problém klimatickej zmeny za vreckové predsedu vlády!

[Autor knihy používa ekvivaletne názvy Spojené kráľovstvo (UK) a Veľká Británia. Výpočty sú platné pre Spojené kráľovstvo, t. j. Veľkú Britániu + Severné Írsko. V knihe používame zaužívaný termín Veľká Británia – pozn. prekl.]

\*Pozri detaily v poznámke ku kapitole (str. 19). Každá kapitola má poznámky s referenciami, zdrojmi a detailmi. Aby som čitateľa viac nemiatoľ, v texte sa poznámky pod čiarou už neobjavia.



Obrázok 1.1 Tento leták od Greenpeace som dostal ako spam v máji 2006. Majú moderné turbíny kapacitu nahradiť nenávidené chladiace veže jadrových reaktorov?

Ešte trestuhodnejší je prístup spoločností, ktoré ponúkajú ako riešenie ekologických problémov „akumulátory na vodu“, „prenosné veterné turbíny“, „biodegradovateľné mobilné telefóny“ a ďalšie marketingové nezmysly.

Zavádzajú však aj zástancovia skutočných zmien. Napríklad ľudia, ktorí chcú vyzdvihovať výhodu obnoviteľných zdrojov nad jadrovou energiou, hovoria, že „veterné turbíny na mori by mohli poskytnúť elektrinu pre všetky domácnosti vo Veľkej Británii“ a potom povedia, že „budovanie jadrových elektrární nepomôže v boji s klimatickou zmenou“, pretože 10 nových jadrových elektrární „by znížilo emisie CO<sub>2</sub> iba o 4 %“. Tento argument je zavádzajúci, pretože prechádza od hrušiek k jablkám, od „elektriny pre domy“ k „znižovaniu emisií“. Pravda je taká, že množstvo elektriny vyrobenej tými nádhernými veternými turbínami, ktorá „by zásobovala všetky domy vo Veľkej Británii“, je presne také isté, ako množstvo vyrobené 10 škaredými jadrovými elektrárnami, ktoré by „znížili emisie iba o 4 %“! „Zásobovanie elektrinou všetkých domácností vo Veľkej Británii“ spôsobuje iba 4 % emisií.

Ale možno najhoršími previnilcami v kráľovstve nezmyslov sú ľudia, ktorí by naozaj mali vedieť viac – popularizátori vedy, ktorí publikujú nezmysly – napríklad časopis New Scientist s článkom o „aute na vodu“.\*

V prostredí, v ktorom ľudia nerozumejú číslam, noviny, aktivisti, firmy a politici môžu beztrešne spáchať vraždu.

Potrebujeme jednoduché čísla a potrebujeme čísla zrozumiteľné, porovnateľné a ľahko zapamätateľné.

Ak budeme mať tieto čísla, budeme schopní odpovedať na otázky ako:

1. Môže krajina ako Veľká Británia existovať zo svojich vlastných obnoviteľných zdrojov?
2. Ak každý obyvateľ zmení teplotu na svojom termostate o jeden stupeň, bude šoférovať menšie auto a vypne nabíjačky mobilných telefónov, keď práve nenabíja telefón, bude možné odvrátiť energetickú krízu?
3. Mala by sa výrazne zvýšiť daň na pohonné látky? Mali by sme znížiť maximálnu povolenú rýchlosť na polovicu?
4. Je ten, kto uprednostňuje veternú energiu pred jadrovou, „nepriateľom ľudí“?
5. Ak je klimatická zmena „väčšia hrozba ako terorizmus“, mali by vlády postaviť mimo zákona „oslavovanie cestovania“ a prijať zákon proti „akciám podporujúcim konzum“?
6. Umožní nám prechod na „vyspelejšie technológie“ znížiť emisie skleníkových plynov bez zmien v našom spôsobe života?
7. Malo by sa ľuďom odporúčať jesť viac vegetariánskej stravy?
8. Je populácia Zeme šesťkrát vyššia, ako by mala byť?

## Prečo debatujeme o energetickej politike?

Dnes sú pri debatách o energii určujúce tri rozdielne motivácie.

Po prvé, fosílna palivá sú vyčerpatelné. Je možné, že lacná ropa (vdaka ktorej jazdíme na našich osobných a nákladných autách) a lacný zemný plyn (ktorým vykurojme mnoho našich bytov) tu už v priebehu našich životov nebudú. Takže sa snažíme hľadať alternatívne zdroje energie. Naozaj, ak predpokladáme, že fosílna palivá sú okrem toho cenné napríklad pri výrobe plastov a mnohých iných vecí, možno by sme ich preto mali zachovať na lepšie využitie, ako ich len jednoducho spáliť.

Po druhé, zaujíma nás bezpečnosť dodávok energie. Aj keď sú fosílna palivá v niektorých miestach sveta stále ľahko dostupné, možno od nich nechceme byť závislí, ak by to našu ekonomiku vystavilo rozmarom nedôveryhodných cudzích štátov (dúfam, že počujete moju opovážlivosť). Ak sa pozrieme na obrázok 1.2, zdá sa, akoby „naš“ zdroj fosílnych palív už vrchol dosiahol. Veľkej Británie sa zvlášť týka problém bezpečnosti dodávok energie, známy ako „chýbajúca energia“. Veľká časť starnúcich uhoľných a jadrových elektrární skončí v najbližších 10 rokoch svoju činnosť (obr. 1.3), takže existuje riziko, že v určitom čase dopyt po energii prekročí jej ponuku, ak nebudú prijaté potrebné opatrenia.

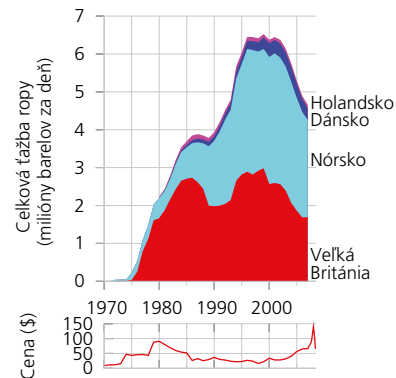
Po tretie, je veľmi pravdepodobné, že používanie fosílnych palív mení naše podnebie. Podiel na klimatickej zmene má viacero ľudských aktivít, najviac sa však na nej podieľa zosilnenie skleníkového efektu pôsobením CO<sub>2</sub>. Väčšina emisií tohto plynu pochádza zo spaľovania fosílnych palív. A hlavný dôvod, prečo ich spaľujeme, je získavanie energie. Takže ak chceme riešiť problém klimatickej zmeny, potrebujeme nové spôsoby získavania energie. Problém podnebia je najmä problémom energie.

Nech je pre vás motiváciou ktorýkoľvek z týchto problémov, potrebujeme čísla o energii a následné opatrenia, ktoré sú účinné.

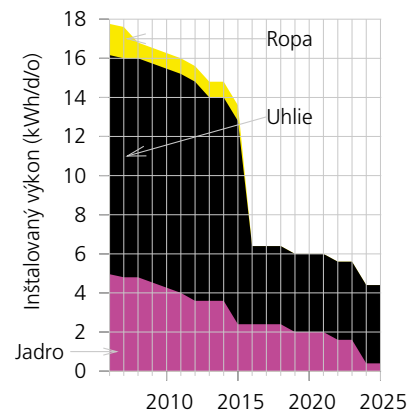
Prvé dva problémy, riešenie ktorých smeruje k drastickému zníženiu používania fosílnych palív, sú jednoznačne sebeckou záležitosťou. Tretí problém, klimatická zmena, je viac nesebeckou motiváciou, veď hlavné dosahy klimatickej zmeny ponosú budúce generácie stovky rokov. Niektorí ľudia majú pocit, že za klimatickú zmenu nenesú zodpovednosť. Hovoria napríklad: „Prečo by som mal niečo robiť ja? Pozrite sa, čo robí Čína!“ V nasledujúcich riadkoch sa budem venovať klimatickej zmene podrobnejšie, pretože pri písaní knihy som sa naučil niektoré zaujímavé skutočnosti, ktoré mi viac objasnili tieto etické otázky. Ak vás klimatická zmena nezaujíma, preskočte do ďalšej sekcie na strane 12.

## Motivácia klimatickou zmenou

Motiváciu klimatickou zmenou vysvetlím v troch krokoch. Prvý: spaľovanie fosílnych palív spôsobuje nárast koncentrácie CO<sub>2</sub>. Druhý: CO<sub>2</sub> je skleníkový plyn. Tretí: zosilňovanie skleníkového efektu zvyšuje priemerné globálne teploty (a má veľa iných dôsledkov).



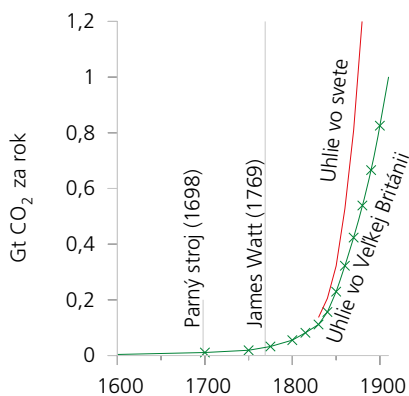
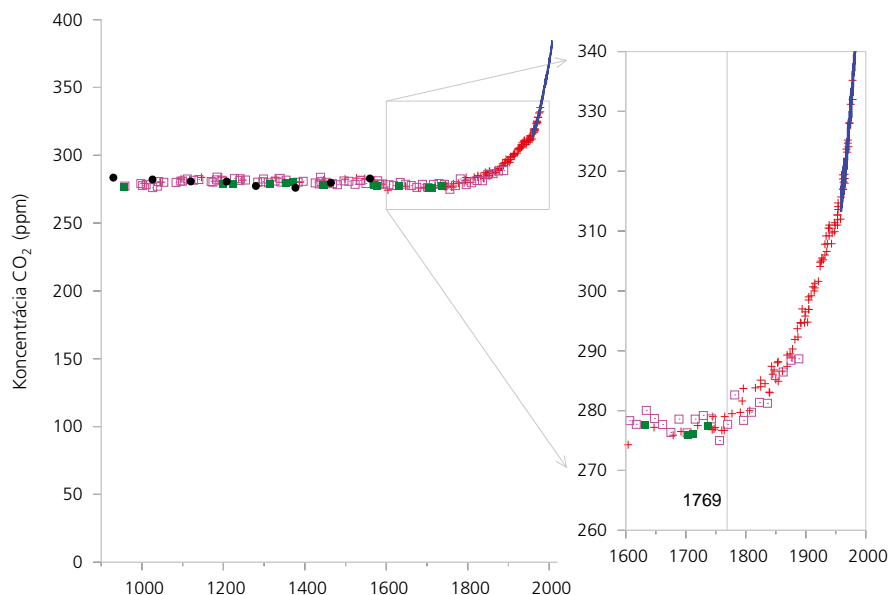
Obrázok 1.2 Dochádzajú „naše“ fosílna palivá? Celková ťažba ropy v Severnom mori a cena ropy v dolároch (pri hodnote v roku 2006).



Obrázok 1.3 Chýbajúca energia, ktorá vznikne ako následok odstavenia britských elektrární, podľa spoločnosti EdF. Graf ukazuje predpokladaný inštalovaný výkon z jadrových, uhoľných a ropných elektrární, v kilowatthodinách za deň na osobu. Je to maximum súčasných jednotlivých zdrojov.

Obrázok 1.4 Koncentrácia oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) (v ppm) za posledných 1 100 rokov, získaná zo vzduchu v ľadových jadrách (do r. 1977) a meraná priamo na Havaji (od r. 1958).

Myslím si, že medzi rokmi 1800 a 2000 došlo k nejakej udalosti. Vyznačil som rok 1769, v ktorom James Watt patentoval svoj parný stroj. (Prvý použiteľný parný stroj bol objavený o 70 rokov skôr, ale ten Wattov bol oveľa účinnejší.)



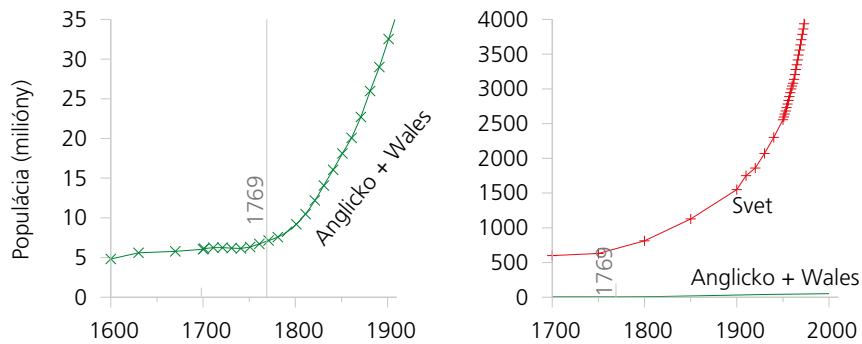
Obrázok 1.5 História ťažby uhlia vo Veľkej Británii a na svete v rokoch 1600 až 1910. Nárast ťažby je prepočítaný na miliardy ton  $\text{CO}_2$  – nepredstaviteľná jednotka, ale nemajte obavy: čoskoro si ju priblížime.

Začnime tým, že koncentrácia  $\text{CO}_2$  vo vzduchu rastie. Obrázok 1.4. zobrazuje určenie koncentrácie  $\text{CO}_2$  vo vzduchu od roku 1000 n. l. až do súčasnosti. Niektorí „skeptici“ tvrdia, že tento nedávny nárast je prirodzený úkaz. Je teda „skeptik“ tou osobou, ktorá sa ani nepozrie na údaje? Nemyslíte si, len tak náhodou, že sa niečo mohlo stať v rokoch 1800 až 2000 n. l.? Niečo, čo nebolo súčasťou prirodzených procesov v predchádzajúcich tisícročiach?

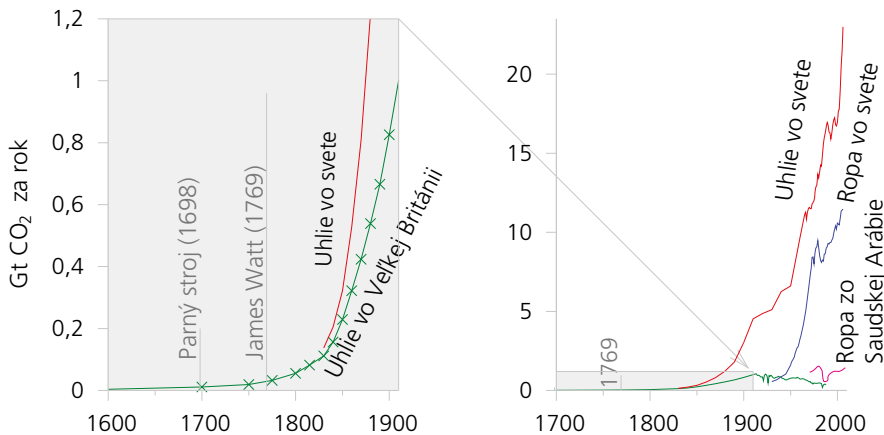
Niečo sa naozaj stalo a nazýva sa to priemyselná revolúcia. Na grafe som vyznačil rok 1769, keď si James Watt nechal patentovať svoj parný stroj. Zatiaľ čo prvý použiteľný stroj bol vynájdený v roku 1698, skutočným začiatkom priemyselnej revolúcie bol až Wattov účinnejší parný motor. Jedným z hlavných využití motora bolo pumpovanie vody z uhoľných baní. Obrázok 1.5 ukazuje, čo sa stalo s produkciou uhlia od roku 1769. V roku 1800 sa uhlie používalo na výrobu železa, pohon lodí, vykurovanie budov, pohon lokomotív a ďalších zariadení a samozrejme aj na pohon čerpadiel, ktoré umožňovali ťažbu väčšieho množstva uhlia v kopcoch Anglicka a Walesu. Veľká Británia mala mimoriadne dobré zásoby uhlia: keď sa revolúcia začala, množstvo uhlíka uloženého v uhlí pod Veľkou Britániou bolo rovnaké, ako je množstvo uhlíka v rope v Saudskej Arábii.

V priebehu rokov 1769 až 1800 sa ťažba uhlia vo Veľkej Británii zdvojnásobila. V nasledujúcich 30 rokoch (1830) sa znovu zdvojnásobila. Ďalšie zdvojnásobenie rýchlosti ťažby sa odohralo za 20 rokov (1850) a ďalšie zdvojnásobenie

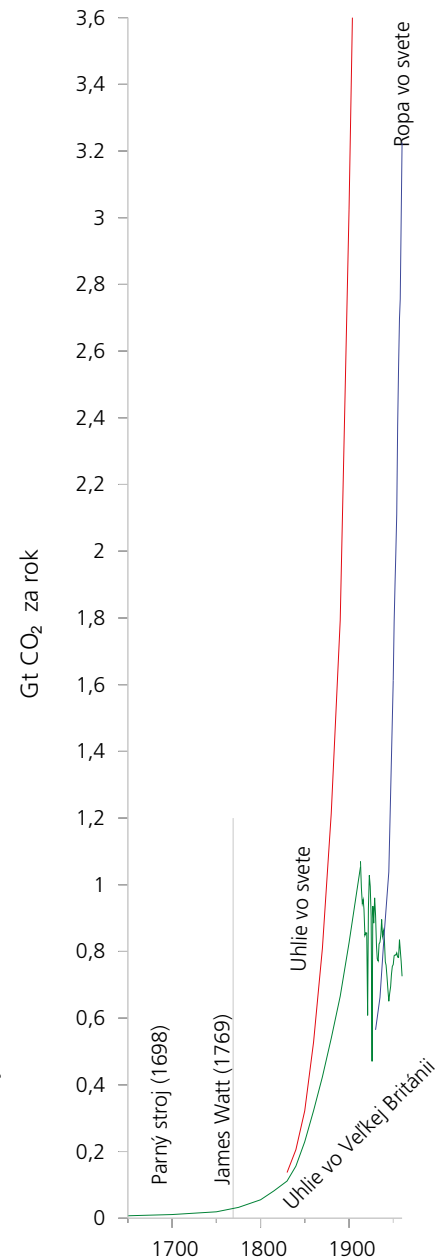
násobenie tiež za 20 rokov (1870). Toto uhlie umožnilo Veľkej Británii ovládnuť svet. To prinieslo Anglicku a Walesu prosperitu, ktorá sa odzrkadila v storočí nebyvalého nárastu populácie.



Spolu s tým, ako revolúcia napredovala, pridali sa aj ďalšie krajiny. Obrázok 1.6 ukazuje ťažbu uhlia vo Veľkej Británii a ťažbu uhlia na celom svete na tej istej mierke ako obrázok 1.5 s posunom v histórii o 50 rokov neskôr. Veľká Británia dosiahla vrchol ťažby uhlia v roku 1910, ale medzitým sa ťažba uhlia na celom svete zdvojnásobovala každých 20 rokov. Je ťažké znázorniť históriu ťažby uhlia na jednom grafe. Aby sa dalo ukázať, čo sa odohralo nasledujúcich 50 rokov, kniha by musela byť vysoká 1 meter! Na riešenie tohto problému je potrebné buď zmenšiť mierku vertikálnej osi:



alebo je možné rozdeliť vertikálnu os nerovnomerne tak, aby bolo možné na osi zobrazit malé aj veľké hodnoty zároveň. Možno to dosiahnuť napríklad použitím logaritmického mierky osi, ktorú som využil na spodných grafoch obrázka 1.7 (str. 9). Na logaritmickú škálu je každý 10-násobný nárast (od 1 do 10, od 10 do 100, od 100 do 1 000) na grafe zobrazený s rovnakým odstupom. Množstvo, ktoré rastie na logaritmickú mierku konštantným percentuálnym prírastkom za rok (to sa nazýva exponenciálny rast), sa javí ako



Obrázok 1.6 Čo sa stalo ďalej. História ťažby uhlia vo Veľkej Británii a vo svete od roku 1650 do roku 1960, v tej istej mierke ako na obrázku 1.5.

priamka. Logaritmické mierky sú vynikajúce na pochopenie rastu. Zatiaľ čo obyčajné grafy v obrázkoch na stranách 6 a 7 ukazujú, že ťažba uhlia vo Veľkej Británii a vo svete výrazne vzrástla a zároveň, že výrazne vzrástla aj britská a svetová populácia, ich pomerné rýchlosti rastu nie sú na týchto grafoch viditeľné. Logaritmické grafy umožňujú porovnávať rýchlosti rastu. Ak sa napríklad pozrieme na sklon krivky populácie, môžeme vidieť, že rast svetovej populácie za posledných 50 rokov bol o niečo rýchlejší ako rast populácie v Anglicku a vo Walese v roku 1800.

Od roku 1769 do roku 2006 vzrástla ročná ťažba uhlia 800-násobne. Ťažba uhlia rastie aj dnes. Ťažia sa aj ostatné fosilné palivá – obrázok 1.7 ukazuje napríklad ťažbu ropy, ale v prípade vplyvu na tvorbu emisií CO<sub>2</sub> kraľuje aj naďalej uhlie.

Spalovanie fosílnych palív je hlavnou príčinou nárastu koncentrácie CO<sub>2</sub> vo vzduchu. To je fakt, ale počkať: stále počujem nejaký šum a mrmlanie od skupiny klimatických skeptikov. Čo hovoria? Tu je napríklad Dominic Lawson, ktorý píše pre časopis *The Independent*:

„Vypúšťať do atmosféry približne 7 gigaton CO<sub>2</sub> za rok spaľovaním fosílnych palív vyzerá veľa. Lenže biosféra a oceány uvoľnia do atmosféry približne 1 900 gigaton a 36 000 gigaton CO<sub>2</sub> za rok - .... to je jedna z príčin, prečo niektorí z nás pochybujú o význame ľudmi podmieneného zosilnenia skleníkového efektu. Znižovanie emisií CO<sub>2</sub> je megalománia, zveličujúca úlohu človeka. Politici nemôžu zmeniť počasie.“

[V roku 2010 boli svetové emisie CO<sub>2</sub> už 32 Gt – pozn. prekl.]

Osobne proti skepticizmu nič nenamietam a nie všetko, čo hovoria skeptici, je bezvýznamné; nezodpovedná žurnalistika v štýle Dominica Lawsona si však zasluhuje poriadne schlaďiť.

Prvý problém s tvrdením Lawsona spočíva v tom, že *všetky tri čísla* ktoré uvádza (7, 1 900 a 36 000), sú *nesprávne!* Správne čísla sú 26, 440 a 330. Poďme však k hlavnému argumentu Lawsona, a teda že naše emisie sú oveľa menšie ako tie prirodzené.

Áno, prirodzené toky CO<sub>2</sub> sú vyššie, ako tie spôsobené ľudmi pred 200 rokmi. Ale je nesmierne zavádzajúce zamerať sa na toky CO<sub>2</sub> iba smerom *do* atmosféry a nespomenúť pritom približne rovnaké množstvo CO<sub>2</sub>, ktoré prúdi z atmosféry späť do biosféry a oceánov. Skutočnosť je taká, že *prírodné* toky do a z atmosféry boli po tisícročia v rovnováhe, preto nie je dôležité, že sú výraznejšie ako emisie spôsobené ľudmi. Prírodné toky sa *navzájom nulujú*. Takže aj keď boli prirodzené toky veľké, koncentrácia CO<sub>2</sub> v atmosfére a oceánoch bola za posledné tisícročia *konštantná*. Naopak, spaľovanie fosílnych palív, hoci je menej významné, spôsobuje *nový* prísun CO<sub>2</sub>, ktorý *nie je nulovaný*. Tu je jednoduchá analógia s pasovou kontrolou na letisku. Za hodinu priletí tisíc pasažierov a k dispozícii je presne toľko úradníkov, aby stihli odbaviť 1 000 pasažierov za hodinu. Môže sa vytvoriť rad, ale vďaka súladu rýchlosti príchodu pasažierov a rýchlosti odbavovania nenarastá. Teraz si predstavte,



Obrázok 1.7 Horný graf znázorňuje koncentráciu  $\text{CO}_2$  (v ppm) za posledných 1 100 rokov – tie isté údaje sú znázornené na obrázku 1.4

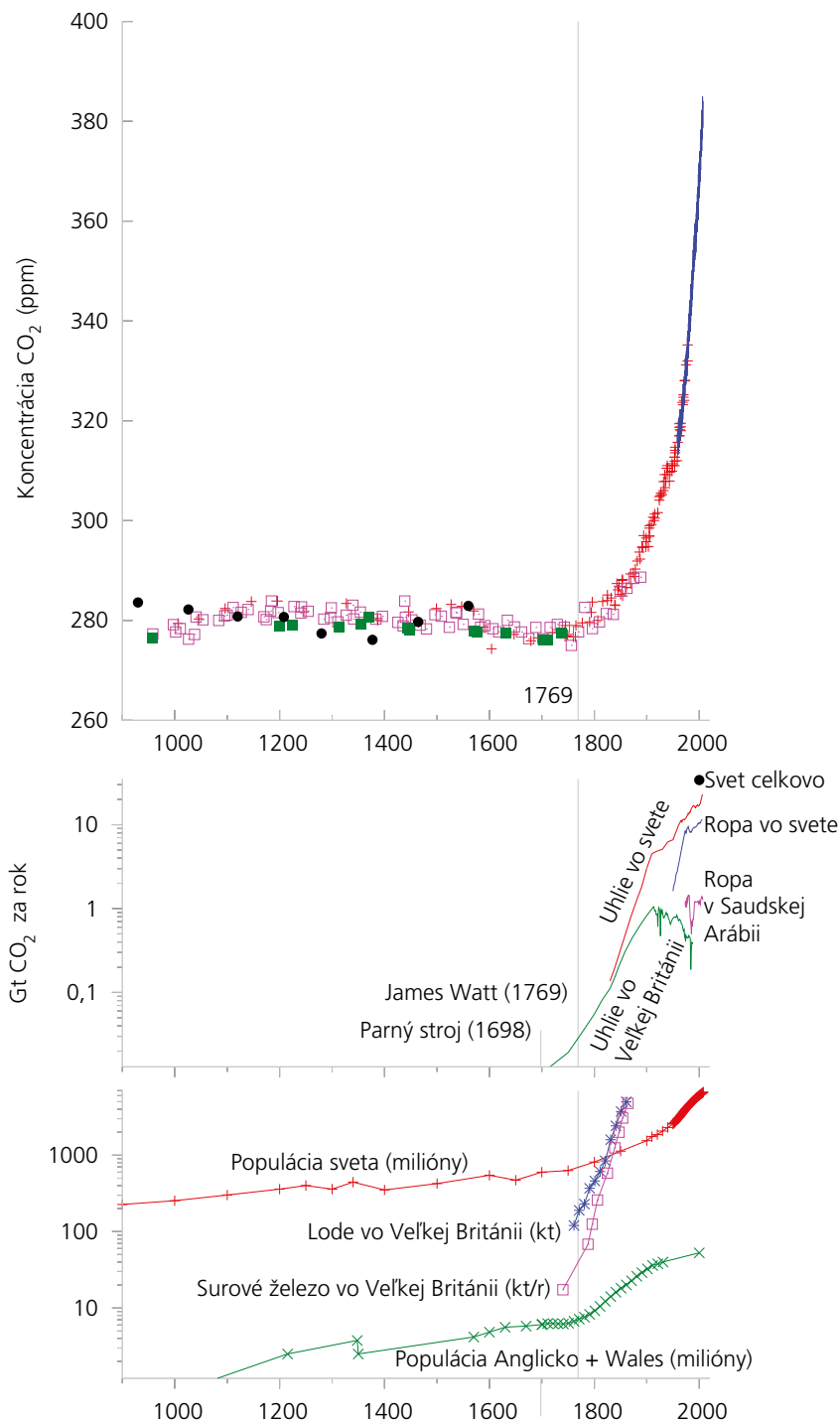
Tu je portrét Jamesa Watta a obrázok jeho parného stroja z roku 1769.



Stredný graf (na logaritmickej mierke) ukazuje vývoj ťažby uhlia v Anglicku, ropy v Saudskej Arábii, uhlia na svete, ropy na svete a (čierny bod vpravo hore) celkové emisie skleníkových plynov v roku 2000.

Spodný graf ukazuje (na logaritmickej mierke) niektoré dôsledky priemyselnej revolúcie: rýchly nárast populácie Anglicka, a podobne aj sveta; a pozoruhodný nárast vo výrobe surového železa (v tonách za rok); a rast hmotnosti anglických lodí (v tisícach ton).

Na rozdiel od obyčajných grafov na predošlej strane, logaritmická mierka umožňuje znázorniť rast populácie Anglicka aj sveta zároveň v jednom grafe, a možnosť vývoj kriviek porovnať.



že pre hmlu musí na letisku núdzovo pristáť lietadlo z menšieho letiska. Táto zmena spôsobí, že dodatočne príde na letisko 50 pasažierov za hodinu – iba malý nárast v porovnaní s pôvodnou kapacitou 1 000 pasažierov za hodinu. Úrady, aspoň spočiatku, nezvýšia počet úradníkov a tí pokračujú v obvyklej rýchlosti odbavovania pasažierov. Takže čo sa stane? Pomaly, ale isto začne rad *narastať*. Spaľovanie fosílnych palív preukázateľne zvyšuje koncentráciu CO<sub>2</sub> v atmosfére a v povrchových vodách oceánov. Žiadny z klimatológov nespochybňuje tento fakt. Človek významne ovplyvňuje koncentráciu CO<sub>2</sub>.

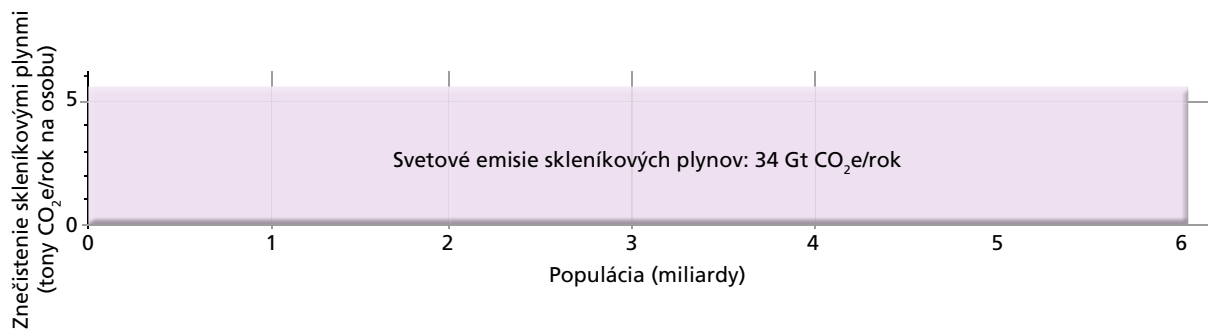
Dobre. Spaľovanie fosílnych palív zvyšuje koncentráciu CO<sub>2</sub> významne. [Dnes je na úrovni hodnôt spred 15-20 mil. rokov – pozn. prekl.] Prekáža to však? „Uhlík je príroda!“ pripomína nám ropná loby, „Uhlík je život!“ Ak by CO<sub>2</sub> nemal žiadne škodlivé účinky, potom by naozaj nebol problém s jeho emisiami. Bohužiaľ, CO<sub>2</sub> je skleníkový plyn. Nie síce najsilnejší, ale nepochybne významný. Pridáme ho do atmosféry a urobí to, čo skleníkové plyny robia: absorbuje infračervené žiarenie (teplo) prichádzajúce z povrchu Zeme a znovu ho vyžaruje náhodným smerom späť do atmosféry. Výsledkom tohto náhodného presmerovania dopravy tepla do atmosféry je zabrzdnený únik tepla z planéty, ktorá sa ocitne pod prikrývkou z CO<sub>2</sub>. Takže CO<sub>2</sub> má otepľujúci vplyv. Tento fakt nie je dokázaný komplexným historickým záznamom globálnej teploty, ale jednoduchými fyzikálnymi vlastnosťami molekúl CO<sub>2</sub>. Skleníkové plyny vytvárajú okolo atmosféry prikrývku a CO<sub>2</sub> je jednou jej vrstvou.

Čo sa teda stane, ak sa ľudstvu podarí zdvojnásobiť alebo strojnásobiť koncentrácie CO<sub>2</sub> (kam určite smerujeme, ak sa nič nezmení)? Existuje tu mnoho neistôt. Skúmať klímu je veľmi ťažké. Podnebie je komplexný systém, osie hniezdo a o koľko sa presne oteplí pri zdvojnásobení koncentrácie CO<sub>2</sub>, nie je isté. Najviac používané klimatické modely nám hovoria, že zdvojnásobenie CO<sub>2</sub> bude mať podobný účinok, ako zvýšenie výkonu Slnka o 2 % a spôsobí to nárast priemerných teplôt asi o 3 °C. To je niečo, čo by historici nazvali zlou situáciou. Nemám v úmysle recitovať litanie pravdepodobných drastických dopadov oteplenia, pretože som si istý, že ste o nich už počuli. Najčastejšie sa hovorí o tom, že „grónsky ľadový príkrov sa postupne roztopí a v priebehu niekoľko sto rokov sa zdvihne hladina oceánov o 7 metrov“. Väčšina litaníí hovorí o pohrome pre budúce generácie. Také teploty Zem nezažila najmenej posledných 100 000 rokov a je pravdepodobné, že ekosystémy by boli tak významne pozmenené, že na Zemi by prestali existovať niektoré služby a dodávka tovarov, ktoré dnes považujeme za samozrejmé.

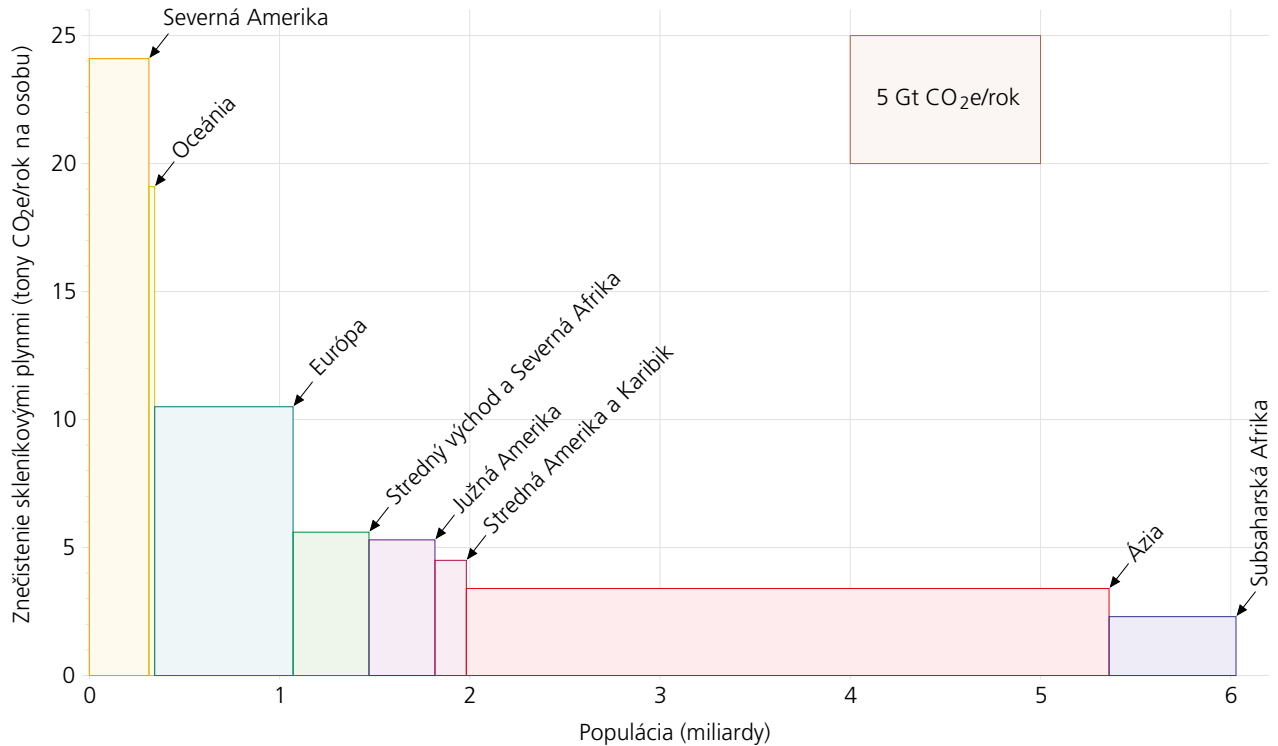
Modelovanie podnebia je ťažké a plné neistôt. No neistota v presnej hodnote, o ktorú sa zmení globálna teplota, nemôže slúžiť ako ospravedlnenie pre nečinnosť. Ak by ste boli na rýchlo idúcej motorke, v hmle a blízko útesu a pri tom všetkom nemali dobrú mapu hraníc útesu, oprávňoval by vás chýbajúci kus mapy na to, aby ste *nespomalili*?

Takže, kto by mal spomaliť? Kto by mal prestať s emisiami CO<sub>2</sub>? Kto je zodpovedný za klimatickú zmenu? Ide samozrejme o etickú, nie vedeckú otázku, ale etické diskusie sa musia zakladať na faktoch. Takže poďme preskúmať fakty o emisiách skleníkových plynov. Najprv krátko o tom, v akých jednotkách sa vyjadrujú. Medzi hlavné skleníkové plyny patria oxid uhličitý, metán a oxid dusný. Každý z týchto plynov má rozdielne fyzikálne vlastnosti, preto sa zvyknú vyjadrovať všetky emisie skleníkových plynov v „ekvivalentných množstvách CO<sub>2</sub>“, kde „ekvivalentný“ znamená „majúci rovnaký efekt ako CO<sub>2</sub> za 100 rokov“. Jednu ekvivalentnú tonu CO<sub>2</sub> možno skrátiť ako „1 t CO<sub>2</sub>e,“ a jednu miliardu ton (teda tisíc miliónov ton) ako „1 Gt CO<sub>2</sub>e“ (jedna gigatona). V tejto knihe znamená 1 t jednu metrickú tonu (1 000 kg). Nebudem rozlišovať britské tony, pretože sa líšia od metrickej tony menej ako o 10 %.

V roku 2000 bolo celkové množstvo emisií skleníkových plynov približne 34 Gt CO<sub>2</sub>e za rok. Ťažko predstaviteľné číslo. Možno si ho však zjednodušiť a zosobniť vydelením počtu obyvateľov na planéte (6 miliárd) a získame znečistenie skleníkovými plynmi *na osobu*, čo je 5½ tony CO<sub>2</sub>e na osobu za rok. Takto možno vyjadriť svetové emisie obdĺžnikom, ktorého šírka je populácia (6 miliárd) a výška predstavuje emisie na osobu. [Tento rok presiahne počet svetovej populácie 7 miliárd – pozn. prekl.].



Takže teraz sú si všetci obyvatelia rovní, ale nie každý z nás vypúšťa 5½ tony CO<sub>2</sub> za rok [teda priemerná uhlíková stopa každého obyvateľa planéty je 5½ t CO<sub>2</sub>e – pozn. prekl.]. Môžeme teda rozlíšiť emisie v roku 2000 tak, aby sa ukázalo, ako jednotlivé oblasti sveta prispievajú k spoločnému 34-miliardovému obdĺžniku.

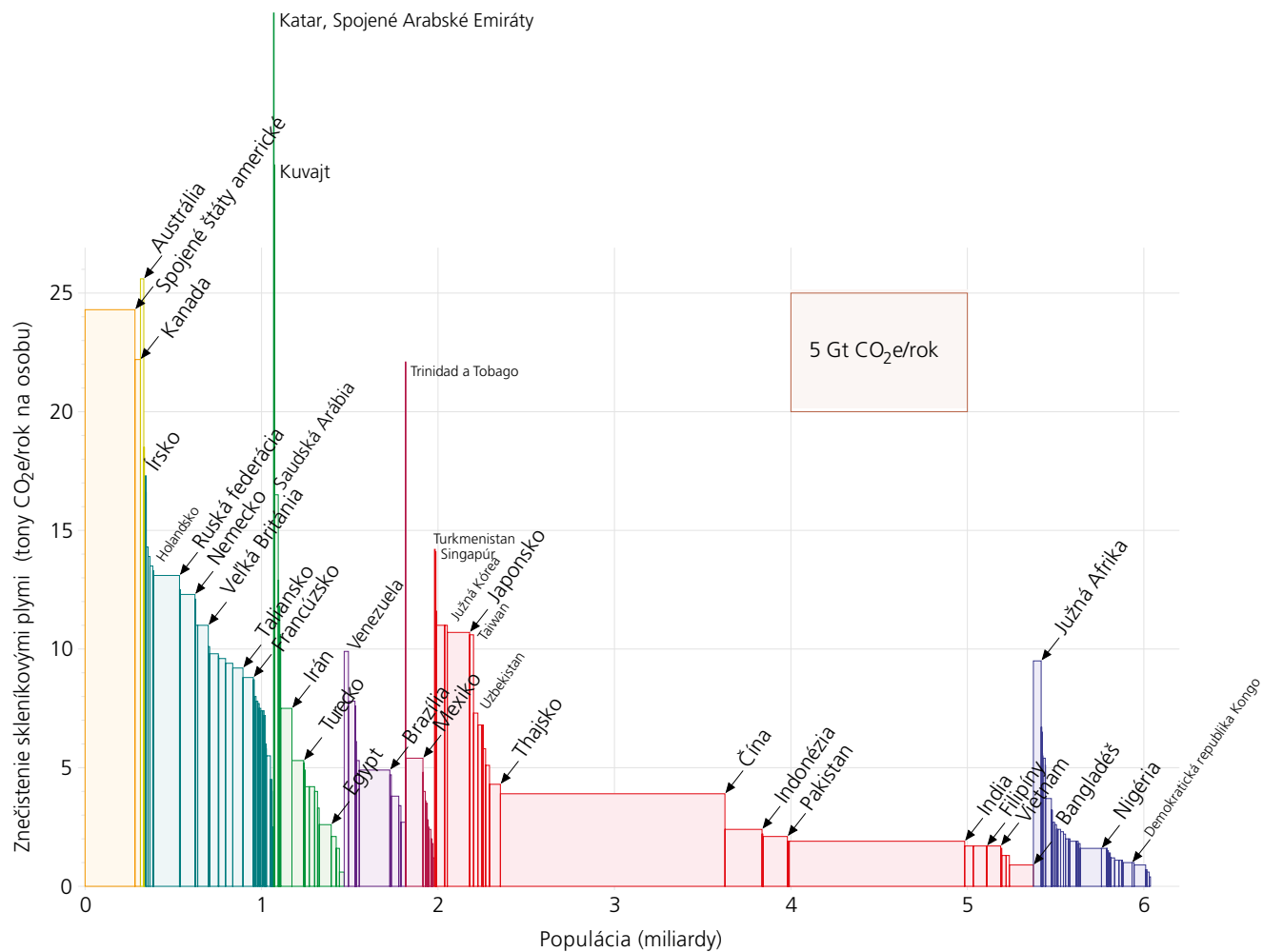


Tento obrázok, ktorý je v tej istej mierke ako predošlý, rozdeľuje svet na 9 oblastí. Každý obdĺžnik znázorňuje emisie skleníkových plynov daného regiónu, pričom šírka znázorňuje počet obyvateľov a výška priemerné emisie na obyvateľa v príslušnej oblasti.

V roku 2000 predstavovali emisie Európanov na obyvateľa asi dvojnásobok svetového priemeru, emisie v Severnej Amerike boli asi štvornásobné.

Môžeme pokračovať v delení a jednotlivé regióny rozdeliť na krajiny. Až tu to začína byť skutočne zaujímavé.

Medzi veľké krajiny s najväčšími emisiami na osobu patrí Austrália, USA a Kanada. Európske krajiny, Japonsko a Južná Afrika sú tiež významnými prispievateľmi. Spomedzi európskych krajín predstavuje Veľká Británia priemer. Ako je však na tom Čína, tá neposlušná krajina „s ktorou nezmôžeme nič“? Pravda, plocha čínskeho obdĺžnika je približne rovnaká ako v prípade USA, skutočnosťou však je, že ich emisie na obyvateľa sú *nížšie* ako svetový prie-

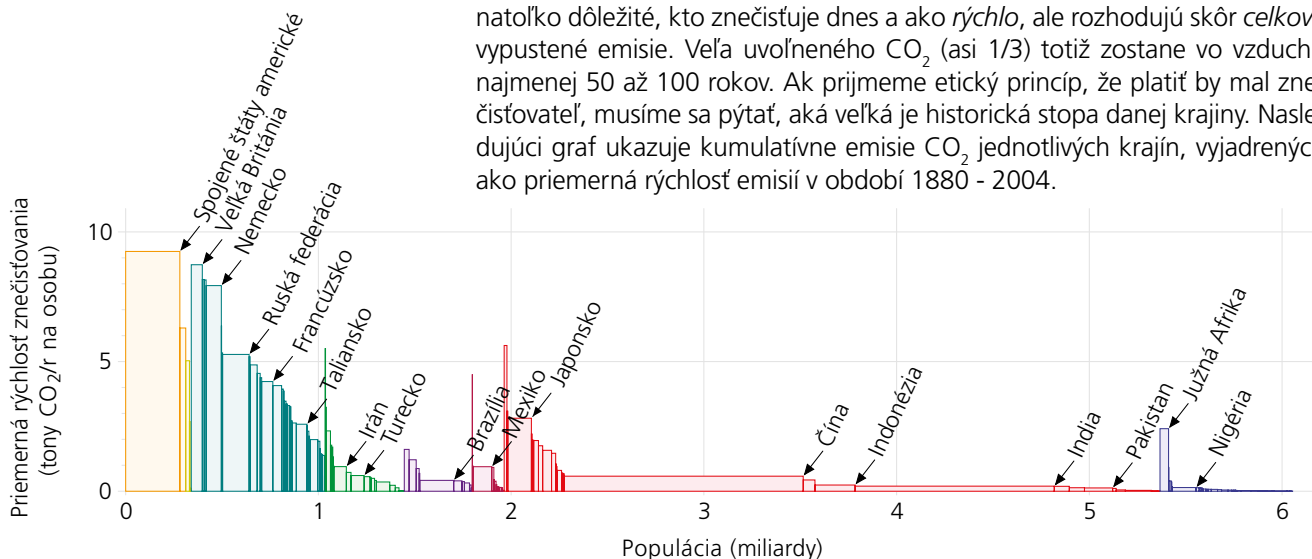


mer. A emisie obyvateľov Indie sú nižšie ako *polovica* priemeru sveta. Navyše musíme mať na pamäti, že väčšina z priemyselných emisií Číny a Indie je spojená s výrobou *produktov určených pre bohaté krajiny*.

Takže ak predpokladáme, že je „potrebné niečo urobiť“ pre zníženie emisií skleníkových plynov, kto nesie bremeno tejto zodpovednosti? Nuž, je to etická otázka. Nedokážem si však veľmi dobre predstaviť etický systém, ktorý nepripúšťa, že zodpovednosť padá obzvlášť na krajiny nachádzajúce sa na ľavej strane zobrazeného grafu – teda krajiny s emisiami dvoj-, troj- alebo štvornásobne vyššími ako je svetový priemer. Napríklad, ako sú krajiny Veľká Británia alebo USA.

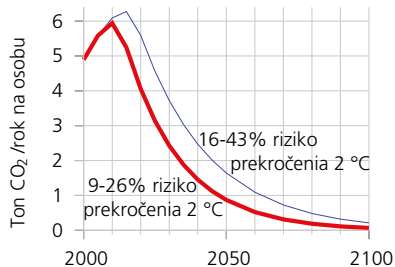
## Historická zodpovednosť za dopady klimatickej zmeny

Ak predpokladáme, že ľudia svojou aktivitou poškodili podnebie a že niekto musí tento problém riešiť, kto bude platiť? Niektorí chcú, aby „platil ten, kto znečisťuje“. Predchádzajúce grafy ukázali, kto znečisťuje dnes. Nie je však až natoľko dôležité, kto znečisťuje dnes a ako *rýchlo*, ale rozhodujú skôr *celkové* vypustené emisie. Veľa uvoľneného CO<sub>2</sub> (asi 1/3) totiž zostane vo vzduchu najmenej 50 až 100 rokov. Ak prijmemé etický princíp, že platiť by mal znečisťovateľ, musíme sa pýtať, aká veľká je historická stopa danej krajiny. Nasledujúci graf ukazuje kumulatívne emisie CO<sub>2</sub> jednotlivých krajín, vyjadrených ako priemerná rýchlosť emisií v období 1880 - 2004.

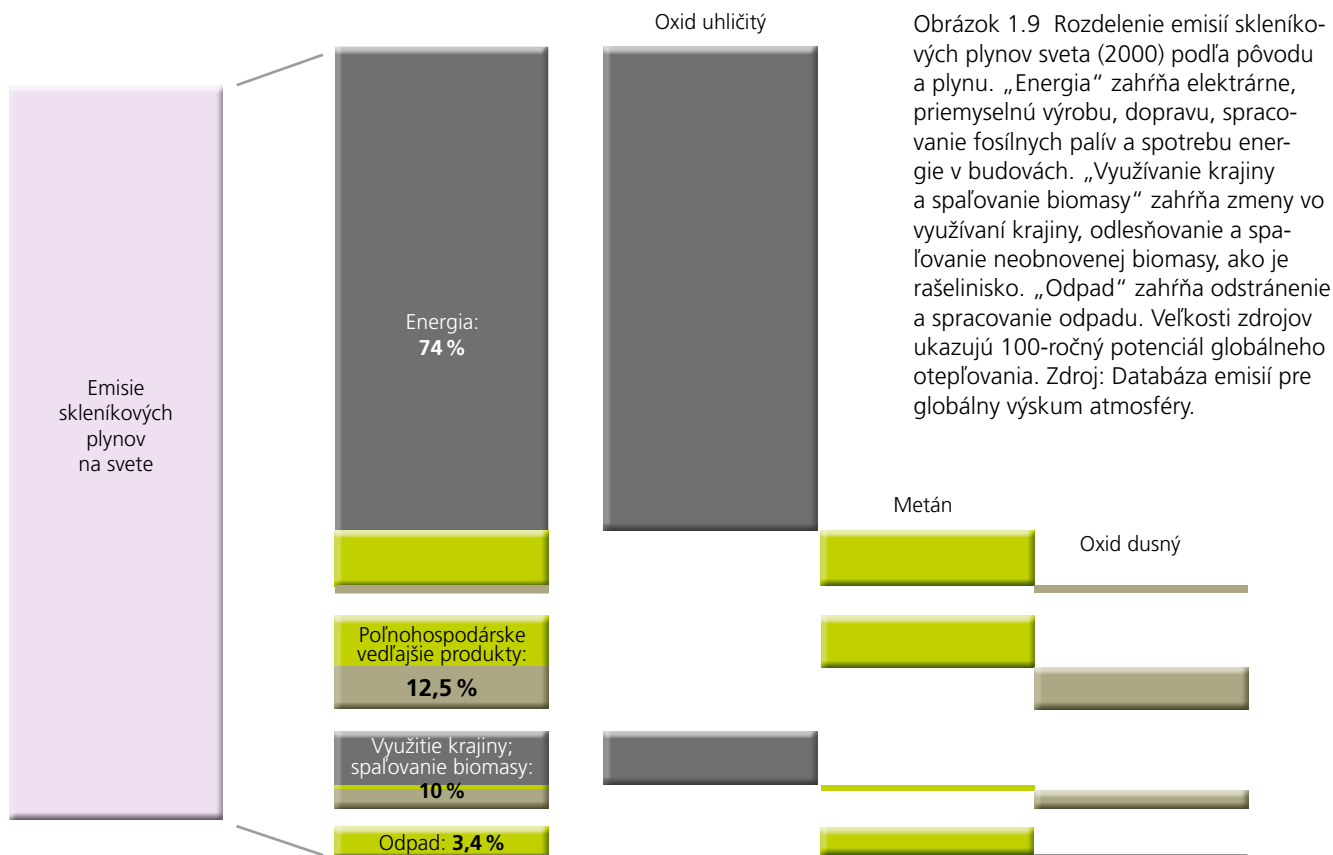


Veľká Británia, gratulujem! Dostali sme sa na stupienok víťazov. Hoci sme dnes v Európe iba priemernou krajinou, pri započítaní historických emisií na obyvateľa sme hneď druhí za USA.

Dobre, dosť bolo etiky. Takže čo teda podľa vedcov treba urobiť, aby sme sa vyhli riziku oteplenia Zeme o 2 °C (2 °C znamená rast teploty, nad ktorým sa predpokladá mnoho negatívnych vplyvov)? Zhoda je jasná. Potrebujeme sa zbaviť využívania fosílnych palív [presnejšia je formulácia, že sa potrebujeme zbaviť takého využívania fosílnych palív, pri ktorom CO<sub>2</sub> uniká do ovzdušia – pozn. prekl.] a potrebujeme to urobiť rýchlo. Niektoré krajiny, vrátane Veľkej Británie, sa zaviazali znížiť emisie skleníkových plynov o 60 % do roku 2050, ale treba zdôrazniť, že takéto zníženie, akokoľvek významné, nie je postačujúce [z pohľadu klimatickej zmeny – pozn. prekl.]. Ak by sa svetové emisie postupne znížili o 60 % do roku 2050, podľa klimatológov je viac pravdepodobné ako nie, že globálne teploty stúpnu o viac ako 2 °C. Rozsah zníženia emisií, ktoré potrebujeme dosiahnuť, ukazuje obrázok 1.8. Na ňom vidieť dva bezpečné scenáre emisií podľa Baera a Mastrandrea (2006) v správe Inštitútu pre výskum verejných politík. Nižšia krivka predpokladá pokles emisií od roku 2007, s celkovou rýchlosťou poklesu 5 % za rok. Horná krivka predpokladá neskorší nástup znižovania emisií a pokles emisií o 4 % za rok. Oba scenáre by mali poskytnúť slušnú pravdepodobnosť, že sa vyhneme otepleniu o viac ako 2 °C v porovnaní s priemernou teplotou pred priemyselnou revolúciou. Pri scenári predstavovanom spodnou krivkou je pravdepodobnosť, že spomínané oteplenie prekročíme v rozmedzí 9 - 26 %. Horná krivka vyjadruje predpoklad



Obrázok 1.8 Globálne emisie pre dva scenáre podľa Baera a Mastrandrea, vyjadrené v tonách na ekvivalent CO<sub>2</sub> za rok na osobu, za predpokladu počtu obyvateľov 6 miliárd. Oba scenáre by mali poskytovať dobrú nádej, ako sa vyhnúť nárastu teploty o viac ako 2 °C oproti predindustriálnemu obdobiu.



prekročenia tejto hranice v rozmedzí 16 - 43 %. Tieto pomerne bezpečné emisné scenáre však predpokladajú oveľa výraznejšie zníženie emisií, ako ktorýkoľvek zo scenárov predkladaných Medzivládny panelom pre klimatickú zmenu (IPCC) alebo Sternovou správou.

Uvedené potenciálne bezpečné možnosti vývoja vyžadujú zníženie ročných globálnych emisií o 70 % alebo o 85 % do roku 2050. Čo to znamená pre krajinu ako Veľká Británia? Ak sa prikloníme k princípu znižovania a zblížovania úrovne emisií (tzv. contraction and converge), čo znamená že všetky krajiny majú za cieľ dosiahnuť rovnaké emisie na obyvateľa, potom Veľká Británia potrebuje znížiť svoje emisie o viac ako 85 %; mali by sa dostať zo súčasných 11 ton CO<sub>2</sub>e za rok na osobu na približne **1 tonu za rok na osobu** do roku 2050. To je taký výrazný pokles, že najlepšie je v tejto súvislosti prestať uvažovať o fosílnych palivách.

A ešte posledná poznámka k motivácii: aktivít človeka podieľajúcich sa na emisiách skleníkových plynov je síce veľa, no zďaleka najväčší podiel má **využívanie energie**. Niektorí ľudia totiž ospravedlňujú svoju neochotu znižovať spotrebu energie výrokmi typu: „Metán gregajúcich kráv prispieva k otepľovaniu viac ako cestovanie lietadlom.“ Áno, vedľajšie poľnohospodárske

produkty prispeli v roku 2000 asi 1/8 k celkovým emisiám skleníkových plynov. Ale využívanie energie k nim prispelo až 3/4 (obr. 1.9). Preto je problém klimatickej zmeny najmä problémom využívania energie.

### Varovanie čitateľom

Dobre, dosť o klimatickej zmene. Budem predpokladať, že sme dostatočne motivovaní, aby sme sa zbavili fosílnych palív. Nech je už vaša motivácia akákoľvek, cieľom knihy je pomôcť vyznať sa v číslach a počtoch tak, aby každý dokázal vyhodnotiť jednotlivé kroky a podprieť ich faktami a údajmi, aby vedel určiť, ktoré *opatrenia majú zmysel*. Netvrdím, že počty a čísla v tejto knihe sú nové; napríklad spomínané knihy Goodsteina, Lomborga a Lovelocka sú plné zaujímavých čísel a výpočtov a na internete tiež existuje množstvo užitočných zdrojov (pozri poznámky na konci každej kapitoly).

V tejto knihe sa snažím o to, aby čísla boli ľahko zapamätateľné a jednoduché; aby ste s nimi mohli narábať samostatne; a aby jednotlivé príklady boli také jasné, že každý trochu premýšľajúci človek si z nich dokáže urobiť jasné závery. Nechcem vás krímiť svojimi vlastnými závermi. Presvedčenie je silnejšie, ak vznikne prirodzene, ako keď je iba naučené. Pochopenie je tvorivý proces. Verím, že po prečítaní tejto knihy budete viac presvedčení o svojich schopnostiach vyhodnotiť každý podobný problém.

Rád by som zdôraznil, že nasledujúce výpočty sú zámerne nepresné. Zjednodušenie je totiž cieľom k pochopeniu. Po prvé, zaokrúhľovanie čísel umožní ich ľahšie zapamätanie. V tejto knihe je napríklad populácia Veľkej Británie 60 miliónov a populácia sveta je 6 miliárd. Nemám problém všetky výpočty spresniť, ale takto si budete môcť problematiku a vzťahy lepšie predstaviť. Ak si napríklad zapamätáme, že emisie skleníkových plynov v roku 2000 boli 34 miliárd ton CO<sub>2</sub>e za rok, potom zároveň vieme, a to bez použitia kalkulačky, že emisie predstavujú 5½ tony CO<sub>2</sub>e na jedného obyvateľa za rok. Tento hrubý výpočet (34 delené 6 sa rovná 5½) nie je presný, ale je rýchly a dostatočný pre účely zaujímavej debaty. Alebo ak si zapamätáte, že priemerný medzikontinentálny výlet vás stojí takmer 2 tony CO<sub>2</sub>e a zároveň už viete, že priemerná svetová spotreba je 5½ tony CO<sub>2</sub>e na osobu, ľahko si uvedomíte, že jediným spiatočným letom spotrebujete viac ako tretinu svetovej priemernej ročnej spotreby CO<sub>2</sub> na obyvateľa na svete.

Páči sa mi viac, ak sa výpočty zakladajú na praktických každodenných skúsenostiach, ako na pôsobivých národných štatistikách. Ak chcem napríklad vypočítať typickú priemernú rýchlosť vetra v Cambridgei, pýtam sa, „je moja rýchlosť bicyklovania zvyčajne väčšia“? Odpoveď je áno. Takže už si dokážem odvodiť, že rýchlosť vetra v Cambridgei je iba zriedkakedy vyššia ako moja priemerná rýchlosť na bicykli 20 km/h (5,6 m/s alebo 12 míľ za hodinu). Zároveň porovnávam svoje výpočty s odhadmi iných ľudí a oficiálnymi štatistikami (tie nájdete na konci každej kapitoly). Táto kniha neslúži ako konečný zdroj pre dokonale presné čísla. Skôr má za cieľ znázorniť, ako možno použiť približné hodnoty na účely konštruktívnych a prínosných rozhovorov.

„Pozri – človek s nízkymi emisiami“

Obrázok 1.10 Zverejnené s láskavým povolením PRIVATE EYE/ Peter Dredge  
www.private-eye.co.uk





Vo výpočtoch najčastejšie používam príklady pre Veľkú Britániu, ale niekedy aj pre Európu, Ameriku alebo celý svet, ale malo by byť jednoduché prepočítať tieto hodnoty na ktorýkoľvek región alebo štát sveta, o ktorý máte záujem.

Na záver tejto kapitoly mi dovoľte ešte zopár upozornení. Nielen že budeme zaokrúhľovať čísla, s ktorými pracujeme, ale zanedbáme aj všetky druhy detailov, o ktoré sa starajú investori, manažéri a ekonómovia. Ak sa snažíte rozbehnúť projekt na využívanie obnoviteľnej energie, už päťpercentný nárast v nákladoch môže spôsobiť rozdiel medzi úspechom a zlyhaním, takže v tomto prípade je nutné prihliadať na každý detail. Ale pre účely tejto knihy nehrá 5 % úlohu. Je o dvoj- alebo o desaťnásobkoch. Je o fyzikálnych limitoch využívania obnoviteľnej energie, nie o ich súčasnej ekonomickej návratnosti. Zatiaľ čo ekonomika je stále premenlivá, základné prírodné limity budú navždy rovnaké. A tie potrebujeme pochopiť.

Debaty o energetickej politike sú často mäťúce a emočne ladené, pretože ľudia spájajú *fakty a etické zásady*.

Medzi príklady **faktických tvrdení** patria výroky: „V globále sa pri spaľovaní fosilných palív uvoľní 34 Gt ekvivalentu CO<sub>2</sub> za rok.“ „Ak sa zdvojnásobí koncentrácia CO<sub>2</sub>, v nasledujúcich 100 rokoch sa zvýši globálna teplota o 1,5 - 5,8 °C.“ „Nárast teploty o 2 °C spôsobí roztopenie grónskeho ľadového príkrovu za 500 rokov.“ „Úplné roztopenie grónskeho ľadového príkrovu spôsobí nárast hladín oceánov o 7 metrov.“

Faktické tvrdenie môže byť buď správne, alebo nesprávne; a určiť to *správne* je ťažké; to je otázka pre vedcov. Napríklad faktické tvrdenia, ktoré som uviedol, môžu byť správne alebo nie. Nevieme však, či sú všetky z nich správne. Niektoré z nich sa dnes považujú za „veľmi pravdepodobné“. Ťažkosti spojené s určením ich pravdivosti sú príčinou debát vedeckej komunity. Ale pri určitom dostatočnom množstve pokusov a diskusií sa pravda alebo nepravda väčšiny takýchto predpokladov nakoniec vyrieši, prinajmenšom „mimo akýchkoľvek pochybností“.

Medzi príklady **etických tvrdení** patria výroky: „Je zlé vyčerpať globálne zásoby spôsobom, ktorý spôsobí rozsiahle škody budúcim generáciám.“ „Znečisťovanie by nemalo byť zadarmo.“ „Mali by sme podniknúť kroky, ktoré zabezpečia, aby sa koncentrácia CO<sub>2</sub> nezdvojnásobila.“ „Politici by mali súhlasiť so stropom pre emisie CO<sub>2</sub>.“ „Krajiny s najvyššími emisiami CO<sub>2</sub> v minulom storočí majú povinnosť zakročiť proti klimatickej zmene.“ „Je spravodlivé rozdeliť emisie CO<sub>2</sub> rovnako na všetkých obyvateľov sveta.“ Takéto tvrdenia nie sú ani „správne“, ani „nesprávne“. Či s nimi súhlasíme, závisí od nášho vlastného etického hodnotenia alebo hodnôt. Etické predpoklady si niekedy môžu protirečiť. Napríklad vláda Tonyho Blaira zaujala radikálny postoj k emisiám CO<sub>2</sub>: „Veľká Británia by mala znížiť emisie skleníkových plynov o 60 % do roku 2050.“ V tom čase však kancelár Gordon Brown opakovane žiadal od krajín ťažiacich ropu, aby *zvýšili* ťažbu ropy.

Táto kniha sa zameriava na fakty, nie na etické postoje. Chcem, aby boli jasné, takže ľudia sa môžu zamerať na zmysluplné debaty o etických



„Dobre – dohodnuté; oznamujem – „nič nerobiť nie je možné!“ tak počkáme a uvidíme, ako sa to vyvinie...“

Obrázok 1.11 Zverejnené s láskavým povolením PRIVATE EYE/ Paul Lowe  
www.private-eye.co.uk

rozhodnutiach. Chcem, aby každý pochopil, ako jednotlivé fakty obmedzujú možnosti, ktoré máme. Ako dobrý vedec sa budem snažiť vyhnúť osobným názorom na etické otázky, ale občas mi niečo unikne – prosím, odpustite mi.

To, či je *spravodlivé*, že Európa a Severná Amerika významne ukrajujú z energetického koláča, je etickou otázkou; ja som tu na to, aby som vám pripomenul *skutočnosť*, že už nie je možné mať vlka sýteho aj ovcu celú; aby som vám pomohol rozpoznať bezpredmetné a neefektívne návrhy riešení a strategické rozhodnutia, ktoré sú v súlade s našimi osobnými hodnotami.

Potrebuje zmysluplný plán!

## Poznámky a ďalšie čítanie

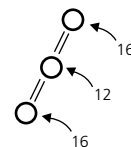
Na konci každej kapitoly budú podrobnosti myšlienok nachádzajúce sa v kapitole, zdroje údajov a citácie, a tiež odkazy na ďalšiu literatúru.

### Strana číslo

- 2 „...nemáme inú možnosť ako to dosiahnuť, len pomocou obnoviteľných zdrojov“; „každý, kto sa spolieha na obnoviteľné zdroje, že zabezpečia dostatok energie, žije v inom svete a je, podľa môjho názoru, nepriateľom ľudí.“ Výroky sú z relácie *Otázky?*, 27. január 2006, BBC Radio 4 [ydoobr]. *Michael Meacher* bol ministrom životného prostredia v rokoch 1997 až 2003. *Sir Bernard Ingham* bol poradcom Margaret Thatcherovej, keď bola vo funkcii premiérky a bol vedúcim Vládnej informačnej služby. Je sekretárom Zástancov jadrovej energie.
- *Jonathon Porritt* (marec 2006). *Je jadrová energia odpoveďou?* Sekcia 3. Rada ministrom. <http://www.sd-commission.org.uk/>
- 3 „jadrová energia je príliš drahá“, „vietor a vlny sú obrovské“. Ann Leslie, novinár. V rozhovore pre reláciu *Otázky?*, Rádio 4, 10. február 2006.
- *Obyvatelia Los Angeles prejdú... zo Zeme na Mars* – The Earthworks Group, 1989, strana 34.
- spoločnosti *targetneutral.com* stačí zaplatiť iba 4 libry za jednu tonu CO<sub>2</sub> na jej „neutralizáciu“ (angl. offset). (To je významne nižšia cena ako v prípade akejkoľvek inej „neutralizačnej“ spoločnosti, s ktorou som sa stretol). Za túto cenu by mohol priemerný Brit svojich 11 ton za rok „neutralizovať“ iba za 44 libier ročne! Dôkaz, že „neutralizácia“ spoločnosti BP v praxi nefunguje, vychádza zo skutočnosti, že ich firma nedokázala dosiahnuť Zlatý Štandard <http://www.cdmgoldstandard.org/> (Michael Schlup, osobná komunikácia). Mnoho „neutralizačných“ projektov sa podľa Fiony Harvey z *Financial Times* ukázalo ako bezcenných [2Jhve6].
- 4 *Ludia, ktorí chcú vyzdvihovať výhodu obnoviteľných zdrojov nad jadrovou energiou, hovoria, že „veterné turbíny na mori by mohli poskytnúť elektrinu pre všetky domácnosti vo Veľkej Británii“*. Na konci roku 2007 britská vláda ohlásila povolenie výstavby veterných turbín v mori „dostatočných pre zásobovanie elektrinou všetkých domov vo Veľkej Británii“. Hovorca organizácie Priatelia Zeme Nick Rau povedal, že organizácia takéto rozhodnutie vlády víta. Podľa neho: „Potenciálne množstvo elektriny, ktorú môže tento priemysel vyrobiť, je obrovské.“ [25e59w]. Podľa časopisu *Guardian* [5o7mxk], John Sauven, výkonný riaditeľ organizácie Greenpeace, povedal, že tieto plány predstavujú „revolúciu vo veternej energii“. „A labouristi sa potrebujú zbaviť svojej posadnutosti jadrovou energiou, ktorá dokáže znížiť emisie CO<sub>2</sub> iba o 4 % v ďalekej budúcnosti.“ Nick Rau zo Spoločnosti priateľov Zeme povedal: „Máme nesmiernu radosť, že vláda berie vážne potenciál veternej energie v moriach, ktorá dokáže vyrábať 25 % elektriny Veľkej Británie do roku 2020.“ O pár týždňov neskôr vláda ohlásila povolenie výstavby nových jadrových elektrární. „Dnešné rozhodnutie povolí výstavbu novej generácie jadrových reaktorov... bude znamenať iba málo v boji s klimatickou zmenou“, varovala organizácia Priatelia Zeme [5c4olc].

V skutočnosti obe plánované akcie – veterné turbíny na mori aj jadrové reaktory – by dodali rovnaké množstvo elektriny za rok. Celkový plánovaný výkon 33 GW by v priemere znamenal 10 GW, čo zodpovedá 4 kWh na osobu za deň; a nahradenie všetkých starnúcich jadrových elektrární by tiež znamenalo 10 GW elektriny, čo je 4 kWh na osobu za deň. V tej istej vete oponenti jadrovej energie hovoria, že jadrová energia „urobí málo“, zatiaľ čo veterná energia by „zásobovala elektrinou všetky domy vo Veľkej Británii“. Pravda je taká, že „zásobiť elektrinou všetky domy vo Veľkej Británii“ a „znižiť emisie iba o 4 %“, je presne to isté.

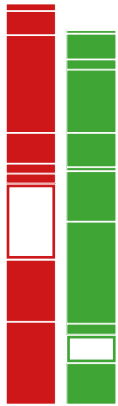
- 4 „*auto na vodu*“ *New Scientist*, 29. júl 2006, strana 35. V článku s titulkom Auto na vodu bude možno už do roku 2009, sa dozvieme:  
 „Zabudnite na autá s pohonom na alkohol alebo rastlinný olej. Onedlho by ste mohli poháňať svoje auto obyčajnou vodou v nádrži. Bol by to automobil s absolútne nulovými emisiami.“  
 „Zatiaľ čo voda na prvý pohľad nepredstavuje zrejmy zdroj výkonu, má kľúčovú vlastnosť: obsahuje veľa vodíka, prvku, o ktorom sa často s nádejou hovorí ako o zelenom palive budúcnosti.“  
 Výsledky, o ktorých informoval *New Scientist*, nie sú vymyslené – išlo však o auto, ktoré využíva ako palivo bór a ako prvý krok slúži chemická reakcia bóru s vodou. Prečo mal časopis *New Scientist* potrebu pretvoriť tento príbeh na auto s pohonom na vodu? Voda nie je palivo. Nikdy nebola a nikdy nebude. Voda už je spálená! Prvý zákon termodynamiky hovorí, že nie je možné získať energiu z ničoho; energiu je možné iba premeniť z jednej formy na inú. Energia pre akýkoľvek motor musí odniekaľ pochádzať. Stanica Fox News prezentovala ešte absurdnejší príbeh [2fztd3].
- *Klimatická zmena je oveľa väčšia hrozba ako terorizmu*. Sir David King, hlavný vedecký poradca britskej vlády, január, 2004. [26e8z]
  - *oslavovanie cestovania* – narážka na to, že „oslavovanie“ by mohlo byť trestným činom podľa definície zákona o terorizme schváleného britskou vládou s účinnosťou od 13. apríla 2006. [ykhayj]
- 5 *Obrázok 1.2*. Tento obrázok ukazuje ťažbu surovej ropy vrátane kondenzátov, tekutých uhľovodíkov, zemného plynu a ďalších tekutých produktov a zisk zo spracovania v rafinérii. Zdroje: EIA a štatistický prehľad BP o svetovej energii.
- 6 *Prvý praktický parný stroj bol vynájdený v roku 1698*. V skutočnosti už Herón Alexandrijský opísal parný stroj, ale keďže jeho verzia sa nasledujúcich 1600 rokov neuchytila, považujem za prvý *praktický* stroj vynález Saveryho v roku 1698.
- *Obrázky 1.4 a 1.7 (str. 9): Graf koncentrácie CO<sub>2</sub>*. Údaje zozbierali Keeling a Whorf (2005) (merania v rokoch 1958 -2004); Neftel a kol. (1994) (1734 - 1983); Etheridge a kol. (1998) (1000 - 1978); Siegenthaler a kol. (2005) (950 - 1888 n. l.); a Indermuhle a kol. (1999) (v období pred 11 000 až 450 rokmi). Mimochodom, tento graf si netreba popliesť s „hokejovým grafom“ – ten ukazuje historickú rekonštrukciu globálnych *teplôt*. Pozorný čitateľ si povšimne, že prezentovaný argument o klimatickej zmene nezmenšuje *historické* záznamy teplôt vzduchu.
  - *Obrázky 1.5 - 1.7 (str. 9): Ťažba uhlia*: zdroje podľa Jevonsa (1866), Malanima (2006), Holandskej environmentálnej agentúry (NEAA) (2006), Národnej kancelárie pre ekonomický výskum (2001), ďalej Hatcher (1993), Flinn a Stoker (1984), Churk a kol. (1986), Supple (1987), Ashworth a Pegg (1986). Jevons bol prvým autorom, ktorý hovoril o „ropnom zlome“ [u nás pozri V. Cílek, *Nejistý plamen* – pozn. prekl.]. V roku 1865 odhadol zásoby ľahko dostupného uhlia vo Veľkej Británii, a to na základe histórie exponenciálneho rastu spotreby a predpovedal koniec exponenciálneho rastu a britskej nadvlády nad svetovým priemyslom. „Nemôžeme sa dlho udržať na súčasnej rýchlosti rastu spotreby... obmedzenie nášho napredovania sa musí prejaviť v priebehu nasledujúcich 100 rokov. ...záver je nevyhnutne taký, že dni nášho šťastného napredovania a vhodných podmienok sú vecou obmedzeného trvania.“ Jevons mal pravdu. V priebehu storočia dosiahla ťažba uhlia vo Veľkej Británii vrchol a nasledovali dve svetové vojny.



Hmotnosti atómu uhlíka a molekuly CO<sub>2</sub> sú v pomere 12 ku 44, pretože atóm uhlíka váži 12 a každý kyslík váži 16 atómových hmotnostných jednotiek. 12 + 16 + 16 = 44.

- 8 **Dominic Lawson, novinár z *The Independent*.** Citácia z príspevku Dominica Lawsons v *The Independent*, 8. júna 2007. Nejde o doslovnú citáciu. Skrátil som jeho slová pre väčšiu zreteľnosť, ale dal som si pozor, aby som neopravil žiadnu z jeho chýb. **Všetky tri čísla, ktoré uvádza, sú nesprávne.** Tu je objasnené, prečo. Po prvé, hovorí o „oxide uhličitom“, ale udáva hodnoty pre uhlík: spaľovanie fosílnych palív znamená pridávanie 26 gigaton CO<sub>2</sub> za rok do atmosféry (nie 7 gigaton). To je častá chyba. Po druhé, tvrdí, že oceány emitujú do atmosféry 36 000 gigaton uhlíka za rok. To je oveľa horšia chyba: 36 000 gigaton je totiž celkový obsah uhlíka v oceánoch! Podľa štandardných grafov uhlíkového cyklu [16y5g], je ročný tok výrazne menší – asi 90 gigaton uhlíka za rok (330 Gt CO<sub>2</sub>/rok). (Domnievam sa, že týchto 90 Gt C/rok je odhadovaná rýchlosť toku, keď by atmosféra náhle znížila svoj obsah koncentrácie CO<sub>2</sub> na nulu). Podobne tak jeho tok „1 900 gigaton“ z biosféry do atmosféry je nesprávny. Správny údaj podľa štandardných grafov je približne 120 gigaton uhlíka za rok (440 Gt CO<sub>2</sub>/rok). Mimočodom, pozorovaný nárast koncentrácie CO<sub>2</sub> presne zodpovedá tomu, čo by sa dalo očakávať za predpokladu, že väčšina emisií fosílného CO<sub>2</sub> zostane v atmosfére. Od roku 1714 do roku 2004 sme vypustili do atmosféry približne 1160 Gt CO<sub>2</sub> v dôsledku spaľovania fosílnych palív a výroby cementu (Marland a kol., 2007). Ak by vo vzduchu zostali všetky emisie, koncentrácia CO<sub>2</sub> by sa zdvihla až o 160 ppm (z 280 ppm na 440 ppm). Doterajší pozorovaný nárast bol približne 100 ppm (z 275 na 377 ppm) [392 ppm v roku 2011 – pozn. prekl.]. Takže z toho množstva, čo sme vypustili, vo vzduchu zostalo približne 60 %.
- 10 **Oxid uhličitý má otepľujúci účinok.** Nadmerne emotívna debata na túto tému sa stáva už pomerne únavnou, je to tak? „Veda už povedala svoje posledné slovo.“ „Nie, nepovedala!“ „Povedala, áno!“ Myslím, že najlepšie, čo môžem urobiť, je odkázať každého, kto si chce odpočinúť od kričania, na krátku správu od Charney a kol. (1979). Závery tejto správy majú rozhodne váhu, pretože správa pochádza z dielne Národnej akadémie vied [ekvivalent k Slovenskej akadémii vied, vo Veľkej Británii Kráľovská spoločnosť – pozn. prekl.], ktorá si zvolila expertov na základe ich odbornosti a „s ohľadom na vhodnú vyváženosť“. Výskumná skupina bola ustanovená „pod záštitou vedenia výskumu podnebia Rady národného výskumu, aby sledovala vedecké podklady pre projekcie možných klimatických zmien budúcnosti, ako dôsledok emisií oxidu uhličitého do atmosféry, pochádzajúceho z ľudskej činnosti“. Presnejšie, boli požiadaní o „identifikáciu hlavných predpokladov, na ktorých stojí dnešné chápanie tohto problému a výstižné a objektívne zhrnutie spôsobu dnešného chápania vzťahu oxidu uhličitého a zmeny podnebia v prospech zákonodarcov“.
- Správa má iba 33 strán a dá sa voľne stiahnuť [5qfkaw] a odporúčam ju. Je v nej jasne stanovené, ktoré fakty boli známe už v tom čase, teda v roku 1979, a v čom boli ešte neistoty.
- Tu sú hlavné závery, ktoré som si z nej zobral. Po prvé, zdvojnásobenie koncentrácie CO<sub>2</sub> zmení ohrievanie troposféry, oceánov a pevniny o priemerný príkon na jednotku plochy približne 4 W/m<sup>2</sup>, ak by boli všetky ostatné vlastnosti atmosféry nezmenené. Tento otepľujúci účinok možno porovnať s priemerným príkonom absorbovaním atmosférou, pevninou a oceánmi, čo je 238 W/m<sup>2</sup>. Takže účinok zdvojnásobenia koncentrácie CO<sub>2</sub> by bol rovný nárastu intenzity Slnka o  $4/238 = 1,7\%$ . Po druhé, vplyvy takého oteplenia je ťažké predpovedať pre vysokú zložitosť systému atmosféra/oceán, ale autori predpovedali oteplenie v rozsahu 2 °C až 3,5 °C, s výraznejším nárastom vo vyšších zemepisných šírkach. Autori nakoniec uzatvárajú: „Napriek snahe sa nám nepodarilo nájsť žiadne prehliadnuté alebo podhodnotené fyzikálne vplyvy, ktoré by mohli znížiť dnes odhadované oteplenie v dôsledku zdvojnásobenia koncentrácie CO<sub>2</sub> na zanedbateľné hodnoty, alebo ho dokonca zvrátili.“ Upozorňujú, že vďaka oceánom existuje „veľká a významná zotrvačnosť globálneho klimatického systému“, ktorá môže spôsobiť, že oteplenie sa môže prejavovať veľmi pomaly, takže ho bude ťažké zaznamenať v nadchádzajúcich desaťročiach. Napriek tomu „sa oteplenie nakoniec prejaví a s ním spojené regionálne klimatické zmeny... môžu byť významné“.
- Predhovor predsedu Asociácie pre výskum podnebia (Climate Research Board) Verneru E. Suomihu zhrnul závery správy slávnou dvojicou záporov: „Ak bude pokračovať nárast koncentrácie oxidu uhličitého, podľa správy nie je dôvod pochybovať o klimatických zmenách a nie je dôvod veriť, že tieto zmeny budú zanedbateľné.“
- **Litánie pravdepodobných drastických dopadov oteplenia - Pretože som si istý, že ste o nich už počuli.** Pozri [2z2xg7] ak nie.
- 12 **Môžeme pokračovať v delení a jednotlivé regióny rozdeliť na krajiny.** Zdroj údajov: Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) Verzia 4.0. (Washington, DC: World Resources Institute, 2007). Prvé tri obrázky ukazujú celkové národné emisie všetkých hlavných skleníkových plynov (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, PFC, HFC, SF<sub>6</sub>), bez príspevku súvisiaceho so zmenami využívania krajiny a lesníctva. Obrázok na strane 14 ukazuje kumulatívne emisie len pre CO<sub>2</sub>.

- 14 *Veľká Británia, gratulujem! ...pri započítaní historických emisií na obyvateľa sme druhí, hneď za USA.* Úprimne sa týmto ospravedlňujem Luxembursku, ktoré je z historického pohľadu v emisiách na obyvateľa pred USA aj Veľkou Britániou; ale ak uvažujem o pódiu víťazov, mám na mysli skutočne krajiny, ktoré majú vysoké emisie na obyvateľa, ale zároveň aj vysoké emisie ako štát. Najväčšími historickými znečisťovateľmi sú podľa zostupného poradia USA (322 Gt CO<sub>2</sub>), Rusko (90 Gt CO<sub>2</sub>), Čína (89 Gt CO<sub>2</sub>), Nemecko (78 Gt CO<sub>2</sub>), Veľká Británia (62 Gt CO<sub>2</sub>), Japonsko (43 Gt CO<sub>2</sub>), Francúzsko (30 Gt CO<sub>2</sub>), India (25 Gt CO<sub>2</sub>) a Kanada (24 Gt CO<sub>2</sub>). Poradie emisií na osobu je nasledovné: Luxembursko, USA, Veľká Británia, Česká republika, Belgicko, Nemecko, Estónsko, Katar a Kanada.
- *Niektoré krajiny, vrátane Veľkej Británie, sa zaviazali znížiť emisie skleníkových plynov o 60 % do roku 2050.* Naozaj, ako píšem, zvýšila britská vláda svoj záväzok zníženia emisií na 80 % oproti hodnotám v roku 1990.
  - *Obrázok 1.8.* Pri scenári s nižšími emisiami je pravdepodobnosť, že teplota prekročí hranicu oteplenia o 2 °C medzi 9 - 26 %; celkové kumulatívne emisie oxidu uhličitého od roku 2007 do budúcnosti dosahujú 309 Gt C; najvyššia koncentrácia CO<sub>2</sub> je 410 ppm, koncentrácia CO<sub>2</sub>e dosiahne maximálne 421 ppm a v roku 2100 klesne koncentrácia CO<sub>2</sub> na 355 ppm. Pri vyššom scenári je pravdepodobnosť prekročenia teploty o 2 °C medzi 16 - 43 %; kumulatívne emisie od roku 2007 predstavujú 415 Gt C; najvyššia koncentrácia CO<sub>2</sub> je 425 ppm, koncentrácia CO<sub>2</sub>e dosiahne maximálne 435 ppm, v roku 2100 klesne koncentrácia CO<sub>2</sub> na 380 ppm. Pozri aj <http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2007-2008/>.
- 16 *a na internete tiež existuje množstvo užitočných zdrojov.* Odporúčam napríklad: *Štatistický prehľad svetovej energie* od BP [yxxq2m], Komisia pre trvalo udržateľný rozvoj [www.sd-commission.org.uk](http://www.sd-commission.org.uk), Dánska asociácia pre veternú energiu [www.windpower.org](http://www.windpower.org), Environmentalisti za jadrovú energiu [www.ecolo.org](http://www.ecolo.org), Oddelenie pre veternú energiu, Univerzita Risø [www.risoe.dk/vea](http://www.risoe.dk/vea), DEFRA [www.defra.gov.uk/environment/statistics](http://www.defra.gov.uk/environment/statistics) a obzvlášť odporúčam knihu *Avoiding Dangerous Climate Change* [Ako sa vyhnúť nebezpečnej klimatickej zmene – pozn. prekl.] [dzcqj], Inštitút Pembina [www.pembina.org/publications.asp](http://www.pembina.org/publications.asp) a DTI (teraz pod skratkou BERR) [www.dti.gov.uk/publications/](http://www.dti.gov.uk/publications/).
- 17 *faktické tvrdenia a etické tvrdenia...* Etické tvrdenia sú tiež známe ako „normatívne tvrdenia“ alebo „hodnotové sudy“ a faktické tvrdenia sú tiež známe ako „pozitívne tvrdenia“. Etické tvrdenia často využívajú slovesá ako „mal by“ a „musí“, alebo prívlastky ako „spravodlivý“, „správny“ a „nesprávny“. K tejto problematike odporúčam dobrú publikáciu Dessler a Parson (2006) [y98ys5].
- *Gordon Brown.* Gordon Brown povedal 10. septembra 2005, že vysoká cena paliva znamená vysoké riziko pre európsku ekonomiku a globálny rast a vyzval krajiny OPEC-u [Združenie krajín vyvážajúcich ropu – pozn. prekl.], aby zvýšili ťažbu ropy. O šesť mesiacov neskôr povedal: „Potrebujeme vyššiu produkciu, viac vrtov, viac investícií, viac investícií do petrochemického priemyslu.“ (22. apríl 2006) [y98ys5].  
Rád by som zmiernil svoju kritiku voči Gordonovi Brownovi, pretože nedávno sa vyjadril za podporu elektromobilov a „plug-in“ hybridných automobilov. Ako uvidíte neskôr, jeden zo záverov v tejto knihe je, že elektrifikácia väčšiny dopravy je dobrým plánom, ako sa zbaviť spaľovania fosílnych palív.



Spotreba Výroba

[\*Energiju nemožno vyrobiť, ale iba „získať“ či „premeniť“. „Spotreba“ a „Výroba“ energie sa môže presnejšie vyjadriť ako „Príkon“ a „Výkon“ – pozn. prekl.]

## 2 Rovnováha

*Prírodu nemožno oklamať.*

Richard Feynman

Teraz sa poďme venovať výrobe a spotrebe energie\*. Dnes sa väčšina energie, ktorú spotrebuje rozvinutý svet, získava z fosílnych palív, čo nie je dlhodobou udržateľné. Ako dlho presne dokážeme ešte žiť z fosílnych palív, je zaujímavá otázka, ale tou sa v tejto knihe zaoberať nebudeme. Budeme rozmýšľať o tom, ako sa dá existovať bez fosílnych palív.

Najprv si urobíme dva stĺpce. Na ľavej strane do červeného stĺpca budeme pridávať príkon energie, do pravého zeleného stĺpca budeme pridávať energiu získanú z obnoviteľných zdrojov. Postupne budeme stĺpce skladáť z tých jednotlivých zložiek, o ktorých bude práve reč.

Otázka, ktorou sa v knihe budeme zaoberať, znie: „Môžeme žiť trvalo udržateľným spôsobom?“ Preto pozbierame všetky možné spôsoby získavania obnoviteľnej energie a naskladáme ich do zeleného stĺpca vpravo.

Vľavo, v červenom stĺpci, vypočítame spotrebu „typickej, primerane bohatej osoby“; odporúčam vám, aby ste si spočítali svoju vlastnú spotrebu a vytvorili si tiež svoj vlastný červený stĺpec. Neskôr k výpočtom pridáme súčasnú priemernú spotrebu energie Európanov a Američanov.

### Vybrané kľúčové formy spotreby pre stĺpec vľavo:

- doprava
  - autá, lietadlá, lode
- vykurovanie a chladenie
- osvetlenie
- informačné systémy a iná elektronika
- jedlo
- priemyselná výroba

### Hlavné kategórie v stĺpci vpravo s trvalo udržateľnou výrobou:

- veterná energia
- solárna energia
  - fotovoltika, tepelná energia, biomasa
- energia vody
- energia vln
- prílivová energia
- geotermálna energia
- jadrová? (s otáznikom, pretože nie je jasné, či jadrová energia je „udržateľná“)

Pri určovaní našej spotreby energie na vykurovanie, dopravu, výrobu a tak ďalej nechceme určiť iba konečnú spotrebu v ľavom stĺpci, ale aj pochopiť, od čoho táto spotreba závisí a ako možno jej jednotlivé zložky meniť a ovplyvňovať.

V pravom, zelenom stĺpci budeme na seba ukladať jednotlivé zložky obnoviteľnej produkcie energie dostupné pre Veľkú Britániu. To nám umožní odpovedať na otázku: „Dokáže Veľká Británia existovať zo svojich vlastných obnoviteľných energetických zdrojov?“

Či sú obnoviteľné zdroje energie, o ktorých tu budeme uvažovať, *ekonomicky* zmysluplné, je veľmi dôležitá otázka, no odložme ju bokom a najprv poskladajme stĺpce. Niekedy sa totiž ľudia príliš zameriavajú na ekonomickú stránku veci a unikajú im širšie súvislosti. Ľudia sa napríklad pýtajú: „Je elektrina z vetra lacnejšia ako z jadra?“ a zabudnú sa opýtať „*koľko* vetra máme k dispozícii“ alebo „*koľko* uránu nám zostáva“.

Výsledok na konci by mohol vyzeráť približne takto:



Ak zistíme, že spotreba je oveľa nižšia ako možnosti obnoviteľnej energie, môžeme potom povedať: „Dobre, *možno* dokážeme žiť trvalo udržateľne; pozrime sa na ekonomické, sociálne a ekologické dopady obnoviteľných alternatív; a ak všetko pôjde dobre, *nemusí* nastať energetická kríza.“

Alebo, naopak, zistíme, že náš výsledok vyzerá takto:



Oveľa horší výsledok. Ten nám hovorí, že „bez ohľadu na ekonomickú stránku veci jednoducho *nemáme* dostatok obnoviteľných zdrojov energie na udržanie nášho súčasného životného štýlu; prichádza významná zmena.“

[\*Používanie jednotky kWh za deň pre vyjadrenie výkonu je neštandardné. Autor si tento originálny spôsob v rámci knihy zvolil, aby mohol jednoduchšie porovnávať energetickú náročnosť rôznych činností a produkčnú schopnosť jednotlivých zdrojov energie. V knihe použitý termín výkon udávaný v kWh za deň nie je vhodné dávať do súvisu s okamžitým odoberaným elektrickým výkonom spotrebičov - pozn. prekl.]



Obrázok 2.1 Rozdiel medzi energiou a výkonom. Každá z týchto 60-wattových žiaroviek má výkon 60 W, keď svieti; nespotrebováva energiu 60 W; vyžaruje 60 W výkonu vo forme svetla a tepla (hlavne toho druhého).

[\*\*Autor v celej knihe hovorí o výkone pre získavanie aj odovzdávanie energie. Tam, kde je to zrejmé, použijeme v preklade termín príkon, teda odovzdávanie energie. – pozn. prekl.]

## Energia a elektrina

Debaty o získavaní a spotrebe energie sú nejasné pre nadmerné množstvo *jednotiek*, v ktorých elektrinu a energiu meriame. Od „ton ropného ekvivalentu“ (toe) až po „terawatt hodiny“ (TWh) a „exajouly“ (EJ). Iba odborníci vedia, čo sa naozaj skrýva pod jednotkou „barel ropy“ alebo „milión BTU“. V tejto knihe budeme všetko vyjadrovať v jednoduchých jednotkách, ktoré si každý dokáže predstaviť.

Jednotka **energie**, ktorú som si zvolil, je kilowatthodina\* (kWh). Táto jednotka sa nazýva „jednotková“ na účtoch za elektrinu a spotrebiteľ za ňu v roku 2008 vo Veľkej Británii zaplatí asi 10 pencí. Ako ďalej uvidíme, väčšina činností v každodennom živote približne zodpovedá malým číslam vyjadreným touto jednotkou a jej násobkami.

Keď budeme hovoriť o **výkone** (teda rýchlosti, s akou spotrebujeme alebo získavame energiu), hlavná jednotka bude kilowatthodina za deň (kWh/d). Niekedy použijeme aj jednotku watt (40 W  $\approx$  1 kWh/d) a kilowatt (1 kW = 1 000 W = 24 kWh/d), ako ďalej vysvetlím. Kilowatthodina za deň je výborná jednotka: väčšina každodenných činností spotrebúvajúcich energiu sa pohybuje rýchlosťou malého čísla v kilowatthodinách za deň. Napríklad jedna 40 W žiarovka, ak svieti celý deň, spotrebuje **jednu** kilowatthodinu za deň. Niektoré elektrické spoločnosti k účtom za elektrinu udávajú aj grafy spotreby elektriny s kilowatthodinami za deň. Túto jednotku budem používať pre všetky formy energie, nielen pre elektrinu. Spotrebu benzínu, plynu, uhlia - všetko toto budem merať v kilowatthodinách za deň. Ešte to vyjasním: pre niektorých ľudí znamená slovo „výkon“ iba spotrebu *elektriny*. Ale táto kniha sa venuje *všetkým* formám energetickej spotreby a získavania, a budem používať pojem „výkon“ aj pre ostatné formy využívania energie.

Jedna kilowatthodina za deň zodpovedá približne výkonu, ktorú by zvládol jeden ľudský sluh. Počítať v kilowatthodinách za deň je preto veľmi účinný spôsob, ako vyjadriť počet sluhov, ktorí pre vás pracujú.

V bežnej reči ľudia často zamieňajú energiu, príkon a výkon, ale v tejto knihe sa musíme prísne držať ich vedeckých definícií. **Výkon je rýchlosť získavania a odovzdávania energie a príkon je rýchlosť odoberania energie.** \*\*

Možno dobrý spôsob, ako vysvetliť **energiju** a **výkon**, je použitie analógie **vody** a **vodného toku** z kohútika. Ak sa chcete napiť vody, chcete určitý **objem** vody – povedzme **jeden liter** (ak máte smäd). Keď otočíte kohútikom, vytvoríte **tok** vody – približne **jeden liter za minútu**, ak kohútikom otočíte iba málo; alebo to môže byť desať litrov za minútu v prípade väčšieho pootočenia. Ten istý objem (jeden liter) vody získate pri väčšom pootočení za jednu desatinu minúty alebo za jednu minútu pri malom pootočení. Tento **objem** za určitý čas je rovný **toku** násobeného **časom**:

$$\text{objem} = \text{tok} \times \text{čas.}$$

objem meriame v litroch	tok meriame v litroch za minútu
energiju (prácu + teplo) meriame v kWh	výkon meriame v kWh za deň



Hovoríme, že tok je rýchlosť, ktorou plníme určitý objem. Ak poznáme objem dosiahnutý za určitý čas, môžeme získať tok vydelením objemu časom:

$$\text{tok} = \frac{\text{objem}}{\text{čas}}.$$

A tu je spojitosť energie a elektrického výkonu. Objem vody zodpovedá energii; tok vody zodpovedá výkonu elektriny. Ak je napríklad kedykoľvek zapnutý hriankovač, začne spotrebúvať elektrickú prácu rýchlosťou jeden kilowatt dovedy, kým ho nevypneme. Alebo inak, hriankovač (ak ho necháme stále zapnutý) spotrebuje jednu kilowatthodinu (kWh) za hodinu; a za deň spotrebuje 24 kilowatthodín.

Čím dlhšie je hriankovač zapnutý, tým viac elektriny spotrebuje. Môžete si vypočítať energiu spotrebovanú nejakou činnosťou vynásobením výkonu časom:

$$\text{energia} = \text{elektrický výkon} \times \text{čas}$$

Joule je štandardná medzinárodná jednotka energie, ale nanešťastie je príliš malá na to, aby sa s ňou dalo pracovať. Jedna kilowatthodina je rovná 3,6 milióna joulov (3,6 megajoulu).

Elektrický výkon je natoľko dôležitý a užitočný, že má niečo, čo iné toky nie: svoje špeciálne jednotky. Keď hovoríme o toku, môžeme ho merať v litroch za minútu, galónoch za hodinu alebo kubických metroch za sekundu; všetky tieto jednotky jasne naznačujú, že ide o objem za čas. Výkon „jeden joule za sekundu“ sa nazýva jeden watt. Jeden tisíc joulov za jednu sekundu je jeden kilowatt. Takže aby sme mali v terminológii jasno: hriankovač odoberá jeden kilowatt. Neodoberie „jeden kilowatt za sekundu“. Pojem „za sekundu“ už je obsiahnutý v definícii kilowattu: jeden kilowatt je „jeden kilojoule za sekundu“. Podobne hovoríme, že „jadrová elektrárňa má výkon jeden gigawatt“. Jeden gigawatt, je mimochodom milión kilowattov alebo 1 000 megawattov. Takže jeden gigawatt uživí milión hriankovačov. Písmená „g“ a „w“ píšeme veľkými písmenami iba v prípade ich skrátenia na GW.

Prosím, nikdy nehovorte „jeden kilowatt za sekundu“, „jeden kilowatt za hodinu“, alebo „jeden kilowatt za deň“, pretože žiadna z týchto jednotiek nie je platnou jednotkou elektriny. Nutkanie ľudí hovoriť „za niečo“, keď hovoria o svojich hriankovačoch, je jedna z príčin, prečo som sa rozhodol ako jednotku výkonu používať „kilowatthodinu za deň“. Ospravedlňujem sa, že je to trochu ťažkopádnejšie vysvetliť a napísať.

A ešte posledná vec, ktorú chcem ujasniť: Ak napíšem „niekto spotreboval jednu gigawatthodinu“, hovorím iba to, koľko energie/elektřiny/tepla spotreboval, ale nie ako rýchlo ju spotreboval. A ak sa povie jedna gigawatthodina, neznamená to automaticky, že energia bola spotrebovaná za jednu hodinu. Môžete spotrebovať jednu gigawatthodinu energie,

energiu	výkon
meriame v kWh	meriame
alebo	v kWh za deň
MJ	alebo
	kW
	alebo
	W (wattoch)
	alebo
	MW (megawattoch)
	alebo
	GW (gigawattoch)
	alebo
	TW (terawattoch)

ak zapnete milión hriankovačov na jednu hodinu, alebo ak zapnete tisíc hriankovačov na tisíc hodín.

Ako som už uviedol, zväčša udávam výkon v kWh/d *na osobu*. Jednou z príčin je možnosť ľahkého porovnávania medzi krajinami alebo regiónmi. Predstavte si napríklad, že sa rozprávame o spaľovaní odpadu a zistíme, že spaľovanie odpadu vo Veľkej Británii znamená množstvo elektrického výkonu 7 terawatthodín za rok, a že v Dánsku je to 10 terawatthodín za rok (jedna terawatthodina je jedna miliarda kilowatthodín). Pomôže nám to určiť, či Dánsko spaľuje „viac“ odpadov ako Veľká Británia? Zatiaľ, čo samotné celkové množstvo energie vyrobenej z odpadu v každej krajine je zaujímavý údaj, myslím, že to, čo chceme vedieť, je údaj množstva výkonu *na jednu osobu*. (Keď už sme pri tom, v prípade Dánska je to 5 kWh/d/osobu a v prípade Veľkej Británie 0,3 kWh/d/osobu.) Ak budeme diskutovať o všetkom v jednotkách osôb, výsledkom knihy bude jej lepšia použiteľnosť: taká, ktorá bude, dúfajme, užitočná pri diskusiách o obnoviteľnej energii na celom svete.

1 TWh (jedna terawatthodina)  
sa rovná jednej miliarde kWh.

### Pikantné detaily

***Je energie stále rovnako? Hovoríme o „používaní“ energie, ale nehovorí jeden z prírodných zákonov, že energiu nemožno vytvoriť ani zničiť?***

Áno, nie som celkom presný. V skutočnosti je táto kniha o *entropii* – čo je ťažšie vysvetliteľné. Keď „spotrebujeme“ jeden kilojoule energie, v skutočnosti iba *premieňame* jeden kilojoule energie z formy s *nízkou entropiou* (napríklad prostredníctvom elektrickej práce) na presne také isté množstvo energie s inou formou, ale už oveľa *vyššou entropiou* (napríklad horúca voda alebo horúci vzduch). Aj v prípade, že „spotrebujeme“ energiu, tá stále existuje; ale za normálnych okolností nedokážeme používať energiu stále dookola, pretože užitočná energia je tá s *nízkou entropiou*. Niekedy sa tieto formy energie rozlišujú pridaním písmena k jednotke: jedna kWh (e) znamená jednu kilowatthodinu elektriny – to je najkvalitnejšia energia. Jedna kWh (t) je jedna kilowatthodina tepla – toľko je napríklad v desiatich litroch vriacej vody. Energia viazaná v predmetoch s vysokou teplotou je obvykle užitočnejšia (s nižšou entropiou) ako energia v chladnejších predmetoch. Tretí stupeň energie predstavuje chemická energia. Tá má podobne vysokú kvalitu ako elektrina.

Je pohodlnejšie, aj keď zavádzajúcejšie, hovoriť o energii skôr ako o entropii a práve to budeme v tejto knihe väčšinou robiť. Niekedy však toto zavádzanie spresním; napríklad, keď sa budeme rozprávať o mrazení, elektrárnach, tepelných čerpadlách alebo o geotermálnej energii.

***Ale neporovnávame tu jablká s hruškami? Je možné porovnávať rôzne formy energie, ako napríklad chemickú, ktorú spaľujeme v automobiloch, s elektrinou získanou z veterných turbín?***

Ak porovnáваме spotrebovanú energiu s rôzne získanou energiou, neznamená to, že všetky formy energie sú ekvivalentné a zameniteľné. Elektrickú prácu z veternej turbíny nemožno využiť v spalovacom motore a benzín nám nepomôže, ak chceme pozeráť televízor. V princípe je možné premeniť jednu formu energie na inú vždy pri určitých stratách. Elektrárne na fosílné palivá napríklad spotrebujú *chemickú energiu* a vyrábajú *elektrinu* (s účinnosťou asi 40 %). A továrne na výrobu hliníka zasa využívajú *elektrinu* na výrobu produktu s vysokým obsahom chemickej energie – hliníka (s účinnosťou asi 30 %).

V niektorých záveroch o výrobe a spotrebe energie sa všetky formy energie uvádzajú v tých istých jednotkách, ale pridávajú sa k nim koeficienty, napríklad elektrina získaná z vodnej elektrárne má 2,5-násobne vyššiu hodnotu ako chemická energia získaná z ropy. Takéto hodnotenie efektívnej energetickej hodnoty elektriny možno obhájiť slovami: „No, 1 kWh elektriny sa rovná 2,5 kWh energie ropy, pretože ak dáme toľko ropy do priemernej elektrárne, získame asi 40 % z 2,5 kWh, čo sa rovná 1 kWh elektrickej práce.“ V tejto knihe však budem pri porovnávaní rôznych foriem energie používať prevody 1:1. *Nie je totiž pravda, že 2,5 kWh v rope sa nevyhnutne rovná 1 kWh v elektrine; to len v prípade, ak by sme z ropy vyrábali elektrinu. Áno, premena chemickej energie na elektrickú prácu sa uskutočňuje s takouto účinnosťou. Ale aj elektrickú prácu je možné premieňať na chemickú energiu. V inom svete, možno nie takom vzdialenom, s pomerne dostatočným množstvom elektriny a nedostatkom ropy, môžeme používať elektrinu na výrobu paliva; v takom svete by sme určite nepoužívali ten istý konverzný koeficient – v takom prípade by nás každá kWh benzínu stála asi 3 kWh elektriny! Myslím si, že časovo nemenný a vedecky správny spôsob vyhodnocovania a porovnávaní jednotlivých energií, je považovať 1 kWh chemickej energie za 1 kWh elektriny. Takýto spôsob vyhodnocovania energie bude znamenať, že niektoré moje odhady budú vyzeráť odlišne od niektorých iných (napríklad podľa *Štatistického prehľadu svetovej energie BP (BP's Statistical Review of World Energy)* sa 1 kWh elektriny rovná 100/38 kWh  $\approx$  2,6 kWh ropy; ale naopak, vládne údaje *Spracovania britskej štatistiky energie (Digest of UK energy Statistics, DUKES)* používajú porovnanie 1:1 tak ako ja). Znovu zdôrazňujem, tento spôsob porovnania neznamená, že tým hovorím, aby ste premieňali jednu formu energie na inú. Premena energie vždy prináša straty, či už premena chemickej na elektrinu alebo naopak.*

## Fyzika a rovnice

Cieľom knihy nie je iba vyhodnotiť dnešnú spotrebu energie v číslach a možné dodávky energie z obnoviteľných zdrojov, ale tiež by malo byť jasné, *od čoho tieto čísla závisia*. Pochopiť, od čoho výsledné čísla závisia, je nevyhnutné na uskutočnenie vhodných rozhodnutí, ktoré by tieto čísla menili. Iba v prípade, ak pochopíme fyzikálne princípy súvisiace so spotre-

bou energie, môžeme kriticky hodnotiť vyjadrenia typu: „Autá vyplytvajú 99 % energie, ktorú spotrebujú; mohli by sme prerobiť naše autá tak, aby boli stokrát účinnejšie.“ Je tento výrok pravdivý? Na vysvetlenie budem musieť použiť nasledujúcu rovnicu:

$$\text{kinetická energia} = \frac{1}{2} mv^2.$$

Pripúšťam, že pre mnoho čitateľov je takáto rovnica španielskou dedinou. A preto dopredu sľubujem: *Všetky takéto rovnice budú zhrnuté iba v technických kapitolách na konci knihy.* Ktokoľvek s vysokoškolským vzdelaním v matematike, vo fyzike alebo v chémii si určite tieto kapitoly s radosťou prečíta. Hlavný obsah knihy (od strany 2 po stranu 251) je určený pre každého, kto vie sčítať, násobiť a deliť. Určená je však predovšetkým pre našich zvolených aj nezvolených zástupcov, členov britského parlamentu.

A ešte posledná poznámka, kým sa do toho pustíme: neviem o energii všetko. Nepoznám všetky odpovede a čísla tu uvedené je možné skontrolovať a opravovať. (V skutočnosti očakávam opravy a uverejním ich na internetových stránkach knihy.) Ale jedným *som* si istý: akékoľvek odpovede týkajúce sa obnoviteľnej energie vyžadujú čísla. Táto kniha ich poskytuje a dáva návod, ako s nimi pracovať. Dúfam, že sa vám to bude páčiť!

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

25 *Pojem „za sekundu“ je už obsiahnutý v definícii kilowattu.* Iné príklady jednotiek, ktoré podobne ako watt už v sebe majú „za čas“ sú uzly – „rýchlosť našej jachty bola desať uzlov!“ (uzol je jedna námorná míľa za hodinu); hertz – „Počujem bzučanie 50 hertzov“ (jeden hertz je frekvencia jedného cyklu za sekundu); ampér – „poistka praskne ak je prúd vyšší ako 13 ampérov“ (nie 13 ampérov za sekundu); a konská sila – „ten čmudiaci motor dosahuje výkon 50 konských síl“ (nie 50 konských síl za sekundu, ani 50 konských síl za hodinu, ani 50 konských síl za deň, iba 50 konských síl).

- *Prosím, nikdy nehovorte „jeden kilowatt za sekundu“.* Existujú určité, veľmi zriedkavé výnimky z tohto pravidla. Ak sa hovorí o raste v dopyte po výkone, možno povedať: „Dopyt vo Veľkej Británii rastie rýchlosťou 1 gigawatt za rok.“ V kapitole 26, kde budem hovoriť o kolísaní veternej energie, poviem: „Ráno klesol výkon dodávaný veternými mlynmi v Írsku rýchlosťou 84 MW za hodinu.“ Pozor na to! Stačí jedna nešťastná slabika na vyvolanie zmätku: napríklad, váš merač spotreby elektrickej práce (elektriny) je v kilowatthodinách (kWh), *nie* v „kilowattoch za hodinu“.

Na strane 367 nájdete tabuľku, ktorá vám pomôže robiť prevody z jednotiek kWh na osobu za deň a ďalších používaných jednotiek elektriny.

## 3 Autá

Prvú kapitolu, venovanú spotrebe, začneme tým, čo našu modernú civilizáciu vystihuje najlepšie: autom, ktoré viez iba svojho vodiča.

Koľko elektriny spotrebuje naše auto? Len čo ovládneme prevody, zvyšok je len jednoduchá aritmetika:

$$\text{energia spotrebovaná za deň} = \frac{\text{vzdialenosť precestovaná za deň}}{\text{vzdialenosť na jednotku paliva}} \cdot \text{energia na jednotku paliva}$$

Nech je **vzdialenosť precestovaná za deň** 50 km (30 míľ).

Nech je **vzdialenosť na jednotku paliva**, známa aj pod názvom **spotreba** auta, 33 míľ na britský galón (prebraté z reklamy na rodinné auto):

$$33 \text{ míľ na britský galón} \approx 12 \text{ km na liter.}$$

A čo s **energiou na jednotku paliva**, nazývanou aj **výhrevnosť** alebo **energetický obsah**? Namiesto jej pevného stanovenia je zábavnejšie trochu pouvažovať. Palivá automobilov (či už nafta alebo benzín) obsahujú uhľovodíky. Podobné zlúčeniny uhlíka a vodíka môžeme nájsť aj na našom kuchynskom stole. Obsah kalórií je napísaný na obale: 8 kWh na kg (obr. 3.2). Pretože sme počítali spotrebu auta v kilometroch na jednotku *objemu* paliva, potrebujeme vyjadriť energetický obsah na jednotkovú *objem*. Aby sme vyjadrili našich „8 kWh na kg“ (teda energiu na jednotkovú *hmotu*) potrebujeme poznať energetický obsah daného paliva. Aká je merná hmotnosť masla? Maslo pláva na hladine vody, podobne ako ropné škvrnky, takže jeho merná hmotnosť musí byť o niečo nižšia ako vody, ktorá má 1 kg na liter. Ak predpokladáme, že maslo má 0,8 kg na liter, získame energetický obsah:

$$8 \text{ kWh na kg} \times 0,8 \text{ kg na liter} \approx 7 \text{ kWh na liter.}$$

Skôr ako opakovať nepresný prepočet bude lepšie pracovať s oficiálnymi údajmi pre benzín, teda 10 kWh na liter.

$$\begin{aligned} \text{energia spotrebovaná za deň} &= \frac{\text{vzdialenosť precestovaná za deň}}{\text{vzdialenosť na jednotku paliva}} \cdot \text{energia na jednotku paliva} \\ &= \frac{50 \text{ km/d}}{12 \text{ km/l}} \cdot 10 \text{ kWh/l} \\ &\approx 40 \text{ kWh/d.} \end{aligned}$$

Gratulujem! Práve sa nám podaril prvý výpočet spotreby. Tento výpočet je zobrazený v ľavom stĺpci na obrázku 3.3. Výška červeného stĺpca predstavuje 40 kWh za deň na osobu.



Obrázok 3.1 Autá. Červené BMW v tieni vesmírnej lode z planéty Dorkon.

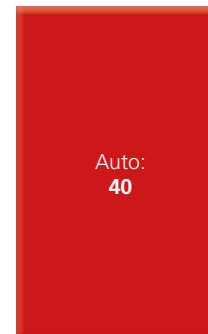


Obrázok 3.2 Chcete vedieť, aká je energia v palive auta? Pozrite sa na štítok na obale masla alebo margarínu. Výhrevnosť je 3 000 kJ na 100 g alebo približne 8 kWh na kg.

v kWh/d

Spotreba

Výroba



Obrázok 3.3 Záver kapitoly 3: Priemerná spotreba typického vodiča je 40 kWh za deň.

Tento odhad platí pre typického majiteľa typického auta. V ďalších kapitolách sa budeme venovať *priemernej* spotrebe všetkých ľudí vo Veľkej Británii, pričom berieme do úvahy aj to, že nie každý obyvateľ jazdí denne sám. V druhej časti tiež rozoberieme, aká by *mohla* byť spotreba s pomocou iných technológií, napríklad elektromobilov.

Prečo dokáže auto prejsť 33 míľ na galón? Kam ide táto energia? Môžeme vyrobiť autá, ktoré by prešli 3 300 míľ na galón? Ak nás zaujíma zníženie spotreby energie na prevádzku auta, musíme porozumieť fyzikálnym zákonom, ktorým podlieha. Odpovede na tieto otázky nájdete v technickej kapitole A (str. 256), kde je znázornená teória spotreby auta. Odporúčam vám čítať technické kapitoly iba v prípade, ak vám vzorce typu  $\frac{1}{2}mv^2$  nespôsobujú zdravotné problémy.

Záver kapitoly 3: typický používateľ auta spotrebuje približne 40 kWh za deň. Teraz potrebujeme vypočítať trvalo udržateľný spôsob dodávok energie, aby sme mali s čím tento výpočet porovnať.

## Otázky

### Aké sú energetické náklady na výrobu paliva pre auto?

Dobrá otázka. Pri výpočte energie spotrebovanej pri určitej činnosti sa vždy snažíme určiť pevné „hranice“ danej činnosti. To zjednodušuje celý výpočet, ale súhlasím, že je vhodné definovať celkový energetický dosah danej činnosti. Odhaduje sa, že výroba každej jednotky paliva vyžaduje vklad 1,4 jednotky ropy a iných primárnych palív (Treloar a kol., 2004).

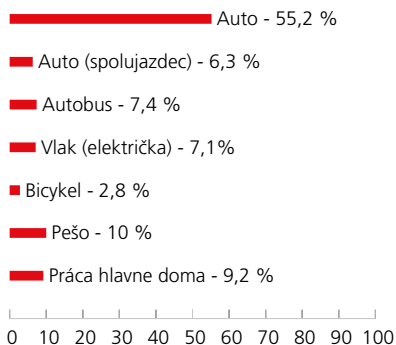
### A čo energetické náklady na výrobu auta?

Áno, aj tieto náklady patria mimo hraníc výpočtu. O nákladoch na výrobu auta budeme hovoriť v 15. kapitole.

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

29 *Nech je vzdialenosť precestovaná za deň 50 km.* To zodpovedá 18 000 km (11 000 míľ) za rok. Približne polovica Britov jazdí do práce autom. Celkové množstvo najazdených kilometrov vo Veľkej Británii je 686 miliárd osobo-km za rok, čo zodpovedá „priemernej vzdialenosti prejazdenej autom na jedného Brita“ 30 km za deň. Zdroj: Ministerstvo dopravy [5647rh]. Ako som povedal na strane 22, budem uvažovať o spotrebe „typického, primerane majetného obyvateľa“ – teda o spotrebe, ktorá je cieľom mnohých ľudí. Niektorí ľudia jazdia málo. V tejto kapitole som chcel vypočítať spotrebu energie ľudí, ktorí auto používajú, nie neosobný „priemer“ pre Veľkú Britániu, ktorý dáva dokopy všetkých ľudí. Ak by som napísal „priemerná spotreba energie na jazdu autom vo Veľkej Británii je 13 kWh/d na osobu“, stavím sa, že niektorí ľudia si to vyložia ako: „Jazdím autom, takže spotrebujem 13 kWh/d.“



Obrázok 3.4 Ako cestujú do práce Briti, podľa prieskumu z roku 2001.

29 *...predpokladajme 33 míľ na britský galón.* To v európskych číslach znamená 8,6 litra na 100 km. 33 míľ na galón bol priemer britských áut v roku 2005 [27jdc5]. Benzínové autá majú priemernú spotrebu 31 mng (míľ na galón); naftové autá 39 mng; nové benzínové autá (menej ako dva roky) 32 mng (Ministerstvo dopravy, 2007). Honda, „najúspornejší výrobca áut v USA“, mala priemernú spotrebu nových áut v roku 2005 vo výške 35 mng [28abpm].

- *Predpokladajme mernú hmotnosť masla 0,8 kg na liter.* Merná hmotnosť benzínu je 0,737. Merná hmotnosť nafty je 0,820 - 0,950 [nmn41].

- *...oficiálna hodnota benzínu je 10 kWh na liter.* Oak Ridge National Laboratory (ORNL) [2hcgdh] udáva nasledujúce hodnoty výhrevnosti: nafta – 10,7 kWh/l; letecké palivo – 10,4 kWh/l; benzín – 9,7 kWh/l. Ak sa pozriete na obsah energie, nájdete „hrubé kalorické hodnoty“ a „čisté kalorické hodnoty“ (známe aj ako „spalné teplo“ a „výhrevnosť“). Tieto hodnoty sa líšia iba o 6 % v prípade motorových palív, takže nie je dôležité ich rozlišovať, ale dovoľte mi, aby som rozdiel medzi nimi vysvetlil. Hrubá kalorická hodnota je vlastná chemická energia, ktorá sa uvoľní pri horení paliva. Jedným z produktov horenia je voda a vo väčšine motorov a elektrární sa časť tejto energie spotrebuje na odparenie vody. Čistá kalorická hodnota udáva, koľko energie zostane po odpočítaní energie spotrebovanej na odparenie.

Keď sa pýtame, „koľko energie potrebujem na svoj životný štýl“, správna veličina je práve hrubá kalorická hodnota. Naopak, čistá kalorická hodnota je zaujímavá pre inžiniera elektrárne, ktorý rozhoduje o tom, aký druh paliva bude využívať. V tejto knihe som sa snažil používať hrubé kalorické hodnoty.

A ešte posledná poznámka pre nekonečných pedantov, ktorí hovoria „maslo nerovná sa uhľovodík“: Dobré, nie je to čistý uhľovodík; ale je vhodné zjednodušiť to takto, pretože maslo zväčša tvoria dlhé uhľovodíky, podobne ako benzín. Dôkazom správnosti postupu je skutočnosť, že toto priblíženie znamenalo chybu menej ako 30 %. Vitajte vo svete partizánskej fyziky.

#### Výhrevnosť

Benzín	10 kWh na liter
Nafta	11 kWh na liter





## 4 Vietor

*Veľká Británia má najlepšie zdroje veternej energie v Európe.*

Komisia pre trvalo udržateľný rozvoj

*Veterné parky narušia vzhľad krajiny celkom bezúčelne.*

James Lovelock

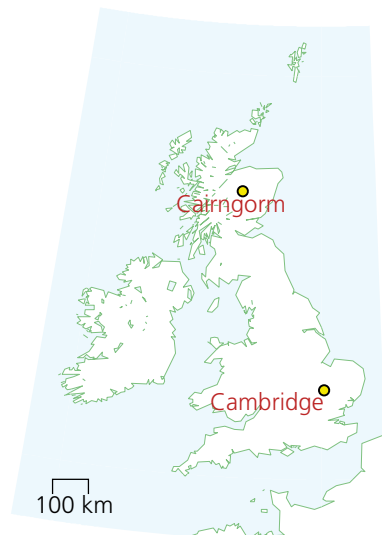
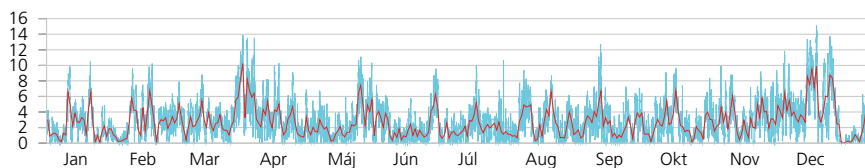
Koľko veternej energie (resp. výkonu) dokážeme získať?

Odhadnúť potenciál výkonu vetra na pevnine vo Veľkej Británii môžeme vynásobením priemerného výkonu na jednotku plochy veterného parku plochou, ktorá pripadá na jedného obyvateľa:

výkon na osobu = **veterný výkon na jednotku plochy** x plocha na osobu.

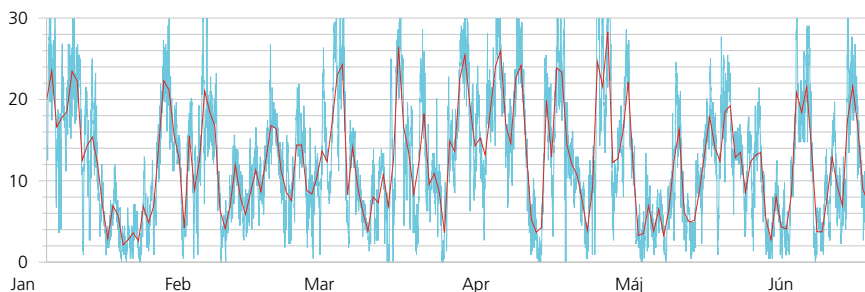
Kapitola B (str. 265) vysvetľuje spôsob, ako vypočítať výkon z jednotkovej plochy veterného parku vo Veľkej Británii. Ak je typická rýchlosť vetra 6 m/s (13 míľ za hodinu alebo 22 km/h), výkon na jednotku plochy získaného z veterného parku je približne **2 W/m<sup>2</sup>**.

Obrázok 4.1 Priemerná rýchlosť vetra v metroch za sekundu v Cambridgei, v denných (červená čiara) a v polhodinových intervaloch (modrá čiara) v roku 2006. Pozri aj obrázok 4.6.



Obrázok 4.2 Priemerná rýchlosť vetra na Cairngorme v metroch za sekundu, v priebehu šiestich mesiacov v roku 2006.

Odhad 6 m/s je pravdepodobne nadhodnotením pre mnohé oblasti vo Veľkej Británii. Napríklad obrázok 4.1 ukazuje priemernú rýchlosť vetra v Cambridgei v roku 2006. Vietor dosiahol dennú priemernú rýchlosť 6 m/s iba 30 dní v roku – pozri histogram na obrázku 4.6. Niektoré miesta však dosahujú aj rýchlosť nad 6 m/s – napríklad hora Cairngorm v Škótsku (obr. 4.2).





Ak započítame hustotu obyvateľstva: 250 ľudí na km<sup>2</sup> alebo 4 000 m<sup>2</sup> na osobu, zistíme, že veterný výkon dokáže získať

$$2 \text{ W/m}^2 \cdot 4\,000 \text{ m}^2/\text{osobu} = 8\,000 \text{ W na osobu,}$$

ak by veterné turbíny boli rozmiestnené po celej krajine a predpokladáme, že 2 W/m<sup>2</sup> je správna hodnota energie na jednotku plochy. Ak to premeníme na naše obľúbené jednotky, znamená to 200 kWh/d na osobu.

Budme realistickí. Koľko plochy krajiny môžeme zastávať veternými turbínami? Možno 10 %? Potom môžeme uzavrieť: ak pokryjeme 10 % najveternejších oblastí krajiny turbínami (dodávajúcimi 2 W/m<sup>2</sup>), sme schopní vyrobiť 20 kWh/d na osobu, čo predstavuje *polovicu* výkonu, ktorý potrebuje priemerné auto na fosilný pohon, ak jazdí 50 km denne.

Zdroj veternej energie vo Veľkej Británii môže byť „obrovský“, ale zjavne nie je taký obrovský, ako naša obrovská spotreba. K veternej energii na mori sa dostaneme neskôr.

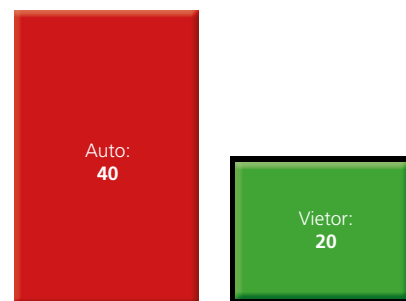
Mal by som uviesť, z akých veľkorysých predpokladov tento výpočet vychádza. Porovnajme tento odhad potenciálu veterného výkonu vo Veľkej Británii s dnes inštalovaným výkonom vo svete. Turbíny, ktoré by zabezpečili našej krajine 20 kWh/d na osobu, predstavujú 50-násobok celého veterného výkonu Dánska, 7-násobok turbín Nemecka a dvojnásobok všetkých veterných turbín na svete [údaj za rok 2010 je nižší, tri štvrtiny – pozn. prekl.].

Prosím však, aby nedošlo k nedorozumeniu. Tvrdím, že by sme sa nemali zaoberať veternou energiou? Vôbec nie. Jednoducho sa snažím poukázať na skutočnosť, že ak majú byť veterné turbíny významným prínosom, potrebujeme ich na veľmi veľkej ploche.

Záver, že maximálny príspevok veternej energie na pevnine, hoci „obrovský“, je oveľa menší ako naša spotreba, je dôležitý. Porovnajme kľúčový predpoklad, teda, že výkon na jednotku plochy je 2 W/m<sup>2</sup>, so skutočnými hodnotami veterných parkov vo Veľkej Británii.

Veterný park Whitelee, postavený pri škótskom Glasgowe, má 140 veterných turbín s kombinovaným *inštalovaným* výkonom 322 MW na ploche 55 km<sup>2</sup>. To je 6 W/m<sup>2</sup>, *maximum*. Priemerný výkon je nižší, pretože turbíny sa nekrúčia stále. Pomer priemerného výkonu k inštalovanému sa nazýva „faktor zaťaženia“ alebo „využitia“ výkonu; mení sa podľa miesta. Závisí tiež od zvolených veterných turbín - zväčša je tento faktor na vhodných lokalitách s vhodnými turbínami asi 30 %. Ak predpokladám, že Whitelee má faktor zaťaženia 33 %, potom je priemerný výkon na plochu 2 W/m<sup>2</sup> – teda presne tá istá koncentrácia energie, k akej sme sa dopracovali.

## v kWh/d



Obrázok 4.3 Záver kapitoly 4: maximálny možný zisk z veternej energie na pevnine vo Veľkej Británii je 20 kWh za deň na osobu.

### VÝKON NA PLOCHU

Veterný park	2 W/m <sup>2</sup>
(rýchlosť 6 m/s)	

Tabuľka 4.4 Fakty hodné zapamätania: Veterné parky.

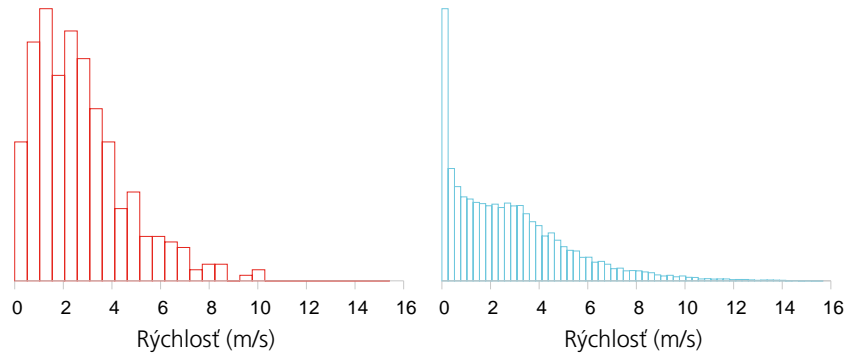
[Pre „inštalovaný výkon“ sa používa aj termín „nominálny výkon“, alebo „špičkový výkon“, či „maximálny výkon“. Ide o maximálny možný výkon, ktorý dokáže elektrárňou dodávať pri optimálnych podmienkach. Označuje sa typicky ako MWp alebo kWp, kde p je z anglického „peak“, t. j. maximum – pozn. prekl.]

### HUSTOTA OBYVATEĽSTVA VO VEĽKEJ BRITÁNII

250 na km<sup>2</sup> <--> 4 000 m<sup>2</sup> na osobu

Tabuľka 4.5 Fakty hodné zapamätania: Hustota obyvateľov. Pozri stranu 338 pre ďalšie hustoty obyvateľstva.

Obrázok 4.6 Histogram priemernej rýchlosti vetra v Cambridgei v metroch za sekundu: denné priemery (vľavo) a polhodinové priemery (vpravo).



### Otázky

#### ***Veterné turbíny sú čoraz väčšie. Ovplyvnia väčšie turbíny závery, ku ktorým sme dospeli v tejto kapitole?***

Vysvetľuje to kapitola B. Väčšie turbíny sú ekonomicky výhodnejšie, ale výkon z danej plochy významne nezvyšujú, pretože medzi väčšími turbínami musia byť väčšie odstup. Veterný park s dvojnásobnou výškou vyrobí asi o 30 % viac elektriny.

#### ***Výkon vetra sa neprestajne mení. Znamená to, že je horšie využiteľný?***

Možno. Vrátime sa k tomu v kapitole 26, kde sa pozrieme na problém premenlivosti vetra a na niekoľko možných spôsobov riešenia, vrátane uskladňovania energie a riadenia spotreby.

### Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

- 32 *Obrázok 4.1 a obrázok 4.6 (str. 34).* Údaje o rýchlosti vetra v Cambridgei sú od Digital Technology Group, Computer Laboratory, Cambridge [vxhhj]. Meteorologická stanica je umiestnená na streche budovy Gates vo výške asi 10 m. Rýchlosť vetra vo výške 50 m je približne o 25 % vyššia. Údaje pre Cairngorm (*obr. 4.2*) pochádzajú z katedry fyziky univerzity Heriot-Watt [tdvml].
- 33 *Turbíny, ktoré by zabezpečili našej krajine 20 kWh/d na osobu, predstavujú 50-násobok celého veterného výkonu Dánska.* Ak predpokladáme faktor zaťaženia 33 %, priemerný výkon 20 kWh/d na osobu vyžaduje inštalovaný výkon 150 GW. Na konci roku 2006 malo Dánsko inštalovaný výkon 3,1 GW; Nemecko 20,6 GW. Inštalovaný výkon vetra na svete je 74 GW (wwindea.org) [v prvej polovici roku 2011 to bolo už viac ako 200 GW, t. j. 2,5 % globálnej spotreby elektriny – pozn. prekl.]. Na porovnanie, faktor zaťaženia veterných parkov v Dánsku v roku 2006 bol 22 % a priemerný výkon na jedného obyvateľa predstavoval 3 kWh/d na osobu.

## 5 Lietadlá

Predstavte si, že podniknete jeden medzikontinentálny let ročne. Koľko to vyžaduje energie?

Boeing 747-400 s 240 000 litrami paliva dopraví 416 pasažierov na vzdialenosť 14 200 km (8 800 míľ); kalorická hodnota paliva je 10 kWh na liter (to sme zistili v kapitole 3). Takže energetické náklady jedného okružného letu s maximálnou vzdialenosťou, rovnomerne rozdelené medzi jednotlivých pasažierov, sú

$$\frac{2 \cdot 240\,000 \text{ litrov}}{416 \text{ pasažierov}} \cdot 10 \text{ kWh/liter} \approx 12\,000 \text{ kWh na pasažiera.}$$

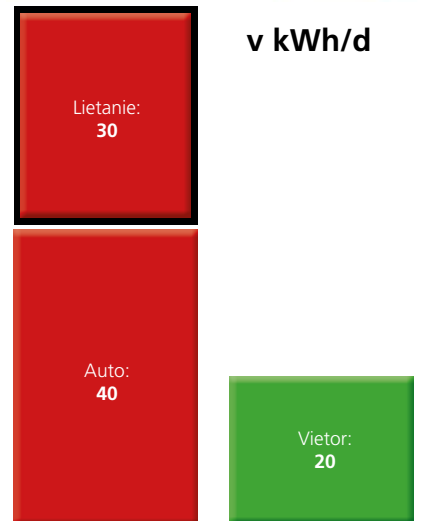
Ak uskutočnite jeden takýto let za rok, potom je vaša priemerná spotreba energie za deň

$$\frac{12\,000 \text{ kWh}}{365 \text{ dní}} = 33 \text{ kWh za deň.}$$

14 200 km je o niečo ďalej ako z Londýna do Kapského Mesta (10 000 km) alebo z Londýna do Los Angeles (9 000 km), takže sa domnievam, že sme trochu nadhodnotili typickú vzdialenosť pre medzikontinentálny let; zároveň sme však nadhodnotili obsadenosť lietadla a spotreba energie na jedného pasažiera je vyššia, keď nie je lietadlo plné. Ak znížim spotrebu energie pre odhad na 10 000 km, čo je vzdialenosť do Kapského Mesta, a zvýším ju odhadom pre obsadenosť lietadla na 80 %, dostaneme spotrebu 29 kWh za deň. Pre jednoduchšie zapamätanie zaokrúhlime toto číslo na **30 kWh za deň**.

Ujasnime si, čo to znamená. Ak letíme raz za rok, je to akoby sme nepretržite „prikurovali“ elektrickým ohrevom 1,25 kW - 24 hodín denne, každý deň, celý rok (toto priblíženie zanedbáva účinnosť využitia primárnych zdrojov energie pri produkcii elektriny).

Tak ako v kapitole 3, kde sme vypočítali spotrebu energie autom, ku ktorej je pridružená kapitola A s vysvetlením, na čo sa táto energia spotrebuje, tak aj k tejto kapitole je pridružená technická kapitola C (str. 269), ktorá sa venuje osudu energie spotrebovanej na lietanie. V nej sa dozvieme odpovede na otázky typu: „Spotrebovali by lietadlá významne menej energie, ak by leteli pomalšie?“ Odpoveď je **nie**: na rozdiel od áut, ktoré *môžu* jazdiť tým účinnejšie, čím idú pomalšie, lietadlá už lietajú takmer s maximálnou možnou účinnosťou. Lietadlá musia nevyhnutne využívať energiu pre dva hlavné dôvody: potrebujú tlačiť vzduch dole, aby zostali vo vzduchu a zároveň potrebujú energiu na prekonanie odporu vzduchu. Nový tvar lietadla významne nezvýši jeho účinnosť. Zlepšenie o 10 %? To je možné. O polovicu? Potom zjem kefu.



Obrázok 5.1 Jeden medzinárodný let spotrebuje približne 30 kWh za deň.



Obrázok 5.2 Dopravné lietadlo Bombardier spoločnosti Q400 NextGen. [www.q400.com](http://www.q400.com).

Energia na vzdialenosť (kWh na 100 o-km)	
Auto (4 ľudia)	20
Lietadlá Ryanair v roku 2007	37
Bombardier Q400, plný	38
Boeing 747, plný	42
Boeing 747, 80 % plný	53
Lietadlá Ryanair v roku 2000	73
Auto (1 človek)	80

Tabuľka 5.3 Účinnosť prepravy cestujúcich vyjadrená v množstve energie potrebnej na 100 osobo-km.

## Otázky

### Nie sú turbovrtuľové lietadlá oveľa účinnejšie?

Nie. „Jednoznačne zelený“ Bombardier Q400 NextGen je podľa slov výrobcu „technologicky najpokročilejšie turbovrtuľové lietadlo na svete“ [www.q400.com]. Spotrebuje 3,81 litra na 100 osobo-km (o-km) pri rýchlosti 667 km/h, čo predstavuje energetické náklady **38 kWh na 100 o-km**. Plne obsadený Boeing 747 má energetické náklady **42 kWh na 100 o-km**. Takže obe lietadlá sú dvojnásobne účinnejšie ako auto s jedným cestujúcim (uvažujem o priemernom európskom aute z kapitoly 3).

### Je lietanie z pohľadu klimatickej zmeny obzvlášť škodlivé?

Áno, to je tvrdenie odborníkov, hoci určité neistoty pretrvávajú [3fbufz]. Pri lietaní sa okrem CO<sub>2</sub> uvoľňujú ďalšie skleníkové plyny (vodná para a ozón) a nepriame skleníkové plyny ako oxidy dusíka. Ak chcete vypočítať vašu uhlíkovú stopu v tonách CO<sub>2</sub> ekvivalentu, potom je potrebné vziať emisie CO<sub>2</sub> daného letu a vynásobiť ich dvoj- alebo trojnásobne. Diagramy v knihe nezahŕňajú tieto násobky, pretože sa zameriavame na energetickú bilanciu.

*To najlepšie, čo môžeme urobiť s environmentalistami, je zastreliť ich.*  
Michael O’Leary, výkonný riaditeľ Ryanair [3asmgy]

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

35 *Boeing 747-400*. Údaje sú z [9ehws].

Dnešné lietadlá nezvyknú lietať celkom plné. Aerolínie sú hrdé, ak je priemerná obsadenosť ich lietadiel 80%. Lietadlá Easyjet majú priemernú obsadenosť 85% (Zdroj: thelondonpaper Tuesday 16. januára 2007). Boeing 747 s 80% obsadenosťou spotrebuje približne 53 kWh na 100 km na jedného pasažiera.

A čo lety na kratšie vzdialenosti? V roku 2007 Ryanair, „najzelenšia spoločnosť v Európe“, prepravovala pasažierov pri nákladoch **37 kWh na 100 o-km** [3exmgv]. To znamená, že lietanie v rámci Európy so spoločnosťou Ryanair je ako doprava autom s dvoma cestujúcimi. (Len pre predstavu, aká je náročnosť dopravy inými spoločnosťami: pred rokom 2000, keď Ryanair investovala do zelených technológií, prepravovali nad **73 kWh na 100 o-km**.) Vzdialenosť z Ríma do Paríža je 1 430 km; z Londýna do Malagy je 1 735 km. Takže energetické náklady okružného výletu do Ríma s najzelenšou spoločnosťou sú 1 050 kWh a výlet do Malagy znamená 1 270 kWh. Preto, ak sa raz za rok vydáte do Ríma aj do Malagy, vaša spotreba energie je 6,3 kWh/d s najzelenšou spoločnosťou a možno 12 kWh/d s menej zelenou spoločnosťou.



Obrázok 5.4 Ryanair Boeing 737-800.  
Fotografia: Adrian Pingstone.

Čo s častými používateľmi lietadiel? Aby sa dala získať strieborná karta od medzinárodnej leteckej spoločnosti, potrebujete precestovať ročne približne 25 000 míľ v ekonomickej triede. To je cca 60 kWh za deň, ak vychádzame z čísel použitých v tejto kapitole a obsadenosti lietadiel 80 %.

Niektoré dodatočné údaje z Medzivládneho panelu pre klimatickú zmenu [yrnmum]: Cesta plným lietadlom Boeing 747-400 na 10 000 km s menším počtom sedadiel (262) vás v priemere stojí 50 kWh na 100 o-km. V prípade verzie s vyšším počtom sedadiel (568) a cestou 4 000 km, to isté lietadlo spotrebuje 22 kWh/d na 100 o-km. Krátky let s lietadlom Tupolev-154 na vzdialenosť 2 235 km s obsadenosťou 70 % jeho 164 sedadiel spotrebuje 80 kWh na 100 o-km.

- 35 *Nový tvar lietadla významne nezvyší jeho účinnosť.* V skutočnosti je cieľom Poradného výboru pre výskum letectva v Európe (Advisory Council for Aerospace Research in Europe, ACARE) znížiť množstvo spotrebovaného paliva na jedného pasažiera celkovo o polovicu do roku 2020 (v porovnaní s rokom 2000) s očakávaným zvýšením účinnosti motora o 15 - 20 %. V roku 2006 bola spoločnosť Rolls Royce na polceste k splneniu tohto cieľa [36w5gz]. Zdá sa, že Dennis Bushnell, vedúci výskumník Výskumného centra Langhley NASA, súhlasí s mojím predpokladom o vývoji leteckého priemyslu. Letecký priemysel dozrel. „Už sa nedá veľa získať, okrem veľmi pomalých zlepšení tu a tam, a to za veľmi dlhé obdobie.“ (*New Scientist*, 24. február 2007, str. 33).

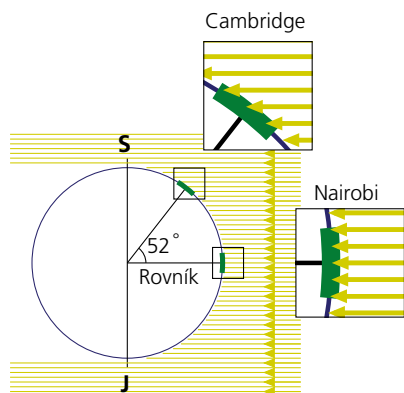
Radikálne „tiché lietadlo“ s novým tvarom [silentaircraft.org/sax40], ak bude niekedy postavené, bude o 16 % účinnejšie ako lietadlo s konvenčným tvarom (Nicol, 2008).

Ak by sme dosiahli cieľ podľa predstáv ACARE, bude to skôr vďaka vyššej obsadenosti lietadiel a lepšej organizácii leteckej dopravy.

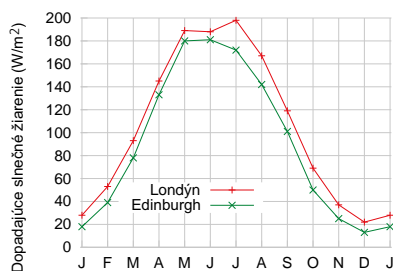
v kWh/d



Obrázok 5.5 Dva výlety lietadlom na kratšiu vzdialenosť najzelenšou spoločnosťou: 6,3 kWh/d. Hodnosť častého letca dosiahnete pri 60 kWh/d.



Obrázok 6.1 Slnčné žiarenie dopadajúce na zem napoludnie, na jar, alebo na jeseň. Hustota žiarenia na jednotku plochy v Cambridgei (zem. šírka  $52^\circ$ ) je približne 60 % koncentrácie na rovníku.



Obrázok 6.2 Priemerná intenzita dopadajúceho slnečného žiarenia v Londýne a Edinburhu ako funkcia času v priebehu roku. Priemerná intenzita na jednotku plochy je  $100 \text{ W/m}^2$ .

## 6 Slnko

Snažíme sa spočítať, aká je naša spotreba energie v porovnaní s možnosťami udržateľnej výroby. V posledných troch kapitolách sme zistili, že spotreba áut a lietadiel je vyššia ako možnosti energie z vetra na pevnine vo Veľkej Británii. Pomôže nám slnečné žiarenie?

Príkon slnečného žiarenia na poludnie počas bezoblačného dňa je  $1\,000 \text{ W na m}^2$ . To je  $1\,000 \text{ W na m}^2$  plochy orientovanej kolmo na Slnko, nie plochy zeme. Aby sme získali jednotku energie na plochu zeme vo Veľkej Británii, musíme urobiť niekoľko **korekcií**. Potrebujeme kompenzovať uhol medzi Slnkom a Zemou, ktorý znižuje plošnú hustotu žiarenia o **60 %** oproti jeho hodnote na rovníku (obr. 6.1). Strácame aj tým, že nie je stále poludnie. Počas bezoblačného dňa v marci alebo septembri je pomer priemernej intenzity žiarenia k poludňajšej intenzite približne **32 %**. A nakoniec strácame energiu pre mraky. Na typickej lokalite vo Veľkej Británii svieta Slnko iba **34 %** denného času.

Kombinovaný účinok týchto troch faktorov a ďalšie komplikácie spojené so striedaním ročných období spôsobuje, že priemerné množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia na južne orientovanú plochu vo Veľkej Británii s priemerným optimálnym sklonom je asi  $110 \text{ W/m}^2$  a približne  $100 \text{ W/m}^2$  v prípade žiarenia dopadajúceho na rovnú plochu.

Takže túto energiu môžeme užitočne premeniť 4 spôsobmi:

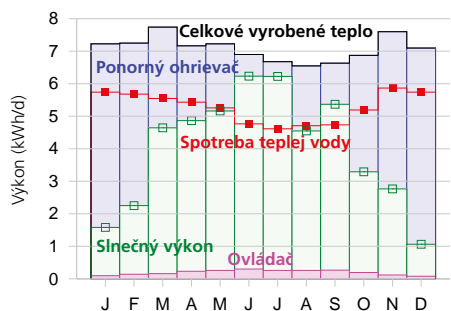
1. Solárna - termálna: s použitím slnečného žiarenia na priame vykurovanie budov alebo ohrev vody.
2. Solárna - fotovoltaická: priama produkcia elektriny.
3. Solárna - biomasa: využíva stromy, baktérie, riasy, kukuricu, sóju alebo olejnaté semená na výrobu palív, chemikálií alebo stavebných materiálov.
4. Jedlo: to isté ako biomasa, len využívame rastliny na priamu konzumáciu pre ľudí alebo zvieratá.

(V ďalšej kapitole sa ešte zoznámime s niekoľkými inými spôsobmi využitia slnečného žiarenia, ktoré sú vhodné na púšťach.)

Podme odhadnúť, koľko príkonu môžeme približne získať jednotlivými spôsobmi využitia žiarenia zo Slnka. Zanedbáme ekonomické a energetické náklady spojené s výrobou a udržiavaním zariadení.

### Solárna tepelná energia

Najjednoduchšia technológia je kolektor na ohrev teplej vody. Predstavme si, že pokryjeme všetky steny a strechy s južnou orientáciou tepelnými kolektormi, čo predstavuje asi  $10 \text{ m}^2$  panelov na osobu a predpokladajme



50% účinnosť premeny slnečného žiarenia pri ohreve vody s východiskovou hodnotou  $110 \text{ W/m}^2$  (obr. 6.3). Násobíme

$$50\% \times 10 \text{ m}^2 \times 110 \text{ W/m}^2$$

a zistíme, že slnečný ohrev vody dokáže zabezpečiť

13 kWh za deň na osobu.

V tomto prípade vyfarbím vnútro stĺpca v produkcii nabiele, aby bolo zrejme, že ide o nízko potenciálnu energiu – teplo vo vode nie je také hodnotné ako vysoko kvalitná elektrina, ktorú produkujú veterné turbíny. Teplo tiež nie je možné prenášať elektrickou sieťou. Ak ho nepotrebujete, alebo ak ho je príliš veľa, musí sa vyplytvať. Mali by sme mať na pamäti, že väčšina takto získaného tepla nebude v správnom čase na správnom mieste. Napríklad v mestách, kde žije veľa ľudí, je k dispozícii menej striech na jedného obyvateľa, ako je priemer krajiny. Táto energia je v priebehu roka k dispozícii veľmi nerovnomerne.

### Elektrina z fotovoltaických článkov

Fotovoltaické (FV) články premieňajú slnečné žiarenie priamo na elektrinu. Bežné FV články majú účinnosť približne 10%; tie drahšie 20%. (Podľa zákonov fyziky je možná maximálna účinnosť článkov 60% pri použití dokonalých koncentrujúcich zrkadiel alebo šošoviek a 45% bez koncentrácie; masová výroba článkov s účinnosťou 30% by bola významným pokrokom.) Priemerný výkon, ktorý by nám dodal solárny článok s účinnosťou 20% na južne orientovaných svahoch vo Veľkej Británii, by bol

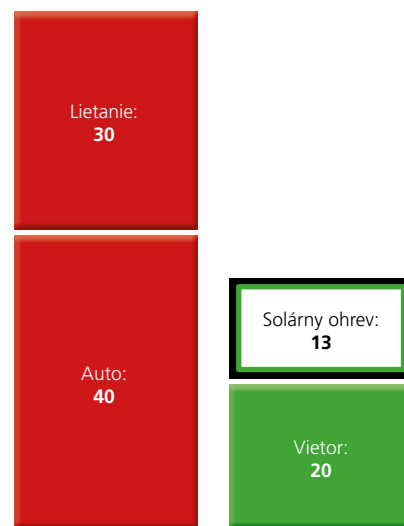
$$20\% \times 110 \text{ W/m}^2 = 22 \text{ W/m}^2.$$

Obrázok 6.5 znázorňuje údaje, z ktorých tento odhad vychádza. Ak bude mať každý obyvateľ drahé FV panely (s účinnosťou 20%) s plochou  $10 \text{ m}^2$  na streche s južnou orientáciou, bude to znamenať

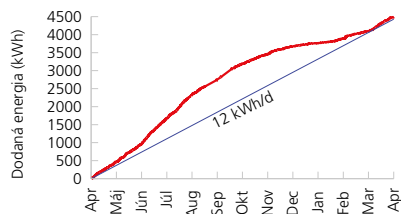
5 kWh za deň na osobu.

Obrázok 6.3 Solárna energia, ktorú zabezpečia  $3 \text{ m}^2$  tepelných kolektorov (zelená) a dodatočné teplo potrebné na prípravu teplej vody (modrá), v skúšobnom dome vo Virian Solar. (Fotografia ukazuje dom s tým istým modelom panelu na streche.) Priemerný slnečný výkon z  $3 \text{ m}^2$  bol  $3,8 \text{ kWh/d}$ . V pokuse je simulovaná spotreba teplej vody v domácnosti priemerného Európana – 100 litrov teplej vody ( $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ) denne. Rozdiel 1,5 - 2 kWh/d medzi celkovým získaným teplom (čierna čiara, hore) a spotrebovanou teplou vodou (červená čiara) spôsobuje stratu tepla. Ružová čiara ukazuje elektrický výkon potrebný na chod solárneho systému. Priemerný výkon na jednotku plochy týchto solárnych kolektorov je  $53 \text{ W/m}^2$ .

v kWh/d



Obrázok 6.4 Solárna tepelná energia:  $10 \text{ m}^2$  plocha kolektorov zabezpečí denne (v priemere) približne 13 kWh tepla.



Obrázok 6.5 Fotovoltaika: hodnoty z plochy 25 m<sup>2</sup> v Cambridgeshire v roku 2006. Maximálny výkon je 4 kW. Celoročný priemer je 12 kWh za deň. To je 20 W na štvorcový meter panelu.

Pretože predpokladaná plocha je 10 m<sup>2</sup> južne orientovaných striech na osobu, určite neexistuje dostatok miesta na tieto články spolu so solárnymi tepelnými kolektormi z predošlej kapitoly. Takže si musíme vybrať, ktorý zo spôsobov získavania energie budeme využívať. Tento problém však preskočíme a oba spôsoby započítame do stĺpcov udržateľnej výroby. Dnes platí, že inštalácia FV článkov je asi 4-násobne drahšia ako inštalácia solárnych tepelných kolektorov a v porovnaní s nimi dodávajú iba polovičné množstvo, aj keď vysoko kvalitnej elektriny. Takže moja rada rodine s úmyslom investovať do solárnej energie znie, aby najprv skúsili tepelné kolektory. Asi najlepším rozhodnutím v menej slnečných krajinách je inštalácia systému, ktorý poskytuje teplo aj elektrinu. Tento prístup zaviedla firma Heliodynamics, ktorá znížila celkovú cenu svojho systému využívaním malých kvalitných arzenid gáliových (GaAs) FV jednotiek s množstvom pomaly sa pohybujúcich plochých zrkadiel. Zrkadlá koncentrujú slnečné žiarenie na FV jednotky, ktoré dodávajú súčasne elektrinu aj teplú vodu; tá vzniká pretakaním vody za chrbtom FV jednotiek.

Takže priebežný záver znie: ak dáte na svoju južne orientovanú časť strechy domu solárne FV panely, môže to pokryť značnú časť vašej dennej spotreby elektriny. Nezdá sa však, že by strechy boli dostatočne veľké na to, aby boli skutočne veľkým prínosom k našej celkovej spotrebe energie. Aby sme s FV článkami dokázali získať viac, potrebujeme ich dostať aj dolu na zem. Solárni bojovníci na obrázku 6.6 ukazujú ako.

Obrázok 6.6 Dvaja solárni bojovníci sa tešia zo svojho fotovoltického systému, ktorý nabíja ich elektrické autá a dom. Súbor 120 panelov (každý 300 W s 2,2 m<sup>2</sup>) má celkovú plochu 268 m<sup>2</sup>, maximálny výkon (po započítaní strát pri premene z jednosmerného na striedavý prúd (z DC na AC)) je 30,5 kWh/deň a priemerný výkon v Kalifornii, blízko Santa Cruz, je 5 kW (19 W/m<sup>2</sup>). Fotografia poskytol Kenneth Adelman. [www.solarwarrior.com](http://www.solarwarrior.com).





### Zatiaľ utópia: solárne elektrárne

Ak sa dočkáme prelomu v solárnej technológii a jej cena klesne dostatočne nízko na to, aby sme mohli rozmiestniť panely po celom vidieku [mali by vo svojom okolí umožniť pastvu zvierat – pozn. prekl.], aké množstvo energie získame? Takže, ak by sa nám podarilo pokryť 5 % Veľkej Británie panelmi s 10% účinnosťou, získali by sme využiteľný výkon

$$10\% \times 100 \text{ W/m}^2 \times 200 \text{ m}^2 \text{ na osobu} \\ \approx 50 \text{ kW/m}^2/\text{deň/osobu.}$$

Mimochodom, tu uvažujem iba o článkoch s účinnosťou 10 %, pretože sa domnievam, že sa budú vyrábať v tomto množstve, len ak budú veľmi lacné. A sú to práve články s nižšou účinnosťou, ktoré budú lacnejšie ako prvé. Koncentrácia výkonu [výkon na jednotku plochy, okrem „koncentrácie výkonu“ sa používa tiež „hustota výkonu“ – pozn. prekl.] takejto solárnej elektrárne [používa sa tiež park alebo farma – pozn. prekl.] by bola

$$10\% \times 100 \text{ W/m}^2 = 10 \text{ W/m}^2.$$

Táto koncentrácia výkonu je dvojnásobná v porovnaní so solárnou elektrárnou v Bavorsku (obr. 6.7).

Mohla by táto záplava solárnych článkov existovať spolu s veternými turbínami z kapitoly 4? Áno, bez problémov: veterné turbíny tienia iba málo. Aký odvážny je tento plán? Inštalovaný výkon solárnych elektrární potrebných na získanie 50 kWh/d na osobu vo Veľkej Británii je viac ako stonásobok všetkej vyprodukovanej elektriny využívaním FV technológie na svete. Mal by som preto zahrnúť FV elektrárne do udržateľnej výroby energie? Tu som nerozhodný. Na začiatku knihy som povedal, že chcem zistiť, čo hovoria fyzikálne zákony o limitoch využívania obnoviteľnej energie, bez ohľadu na peniaze. Z tohto pohľadu by som nemal otáľať a okamžite zastávať okolie a FV elektrárne pridať do stĺpca produkcie. Na druhej strane chcem ľuďom pomôcť, aby zistili, čo by sme mali robiť odteraz až do roku 2050. A dnes je cena elektriny zo slnečných elektrární asi štvornásobne vyššia v porovnaní s trhovou cenou [na Slovensku je to 5 až 8-násobok trhovej ceny – pozn. prekl.] Takže sa cítim trochu nezodpovedne, keď pridávam tento odhad do stĺpca trvalo udržateľnej výroby na obrázku 6.9 – pokryť 5 % územia Veľkej Británie FV článkami vyzerá byť z mnohých dôvodov za hranicami únosnosti. Ak by sme naozaj vážne uvažovali o takomto kroku, bolo by pravdepodobne lepšie umiestniť ich na miesto s dvojnásobkom slnečného žiarenia a poslať ho káblami. V kapitole 25 sa na túto možnosť pozrieme bližšie.

Mýty

**Solárne články potrebujú na svoju výrobu viac energie, ako dokážu vyrobiť za svoj život.**

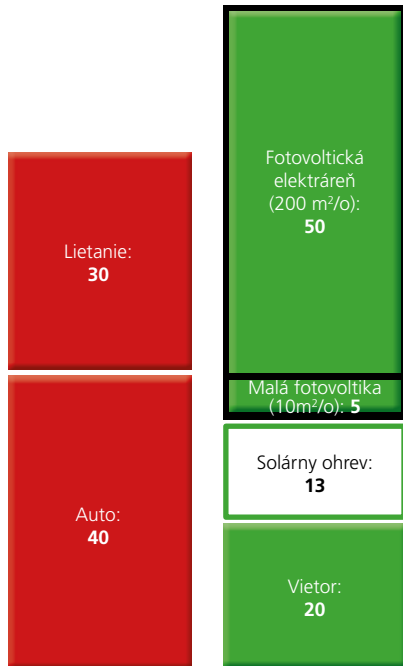


Obrázok 6.7 Solárna fotovoltaická elektrárň: 6,3 MW (maximum) Solarpark v Muhlhausene, v Bavorsku. Predpokladaný priemerný výkon je 5 W/m<sup>2</sup>. Fotografia: SunPower.



Obrázok 6.8 Oblasti krajiny pripadajúce na osobu vo Veľkej Británii.

v kWh/d



Obrázok 6.9 Fotovoltaika: 10 m<sup>2</sup> článkov na každom dome na južne orientovaných strechách s 20 % účinnosťou dokáže dodávať 5 kWh elektrickej energie za deň. Ak by sa pokrylo 5 % krajiny článkami s 10 % účinnosťou (200 m<sup>2</sup> článkov na osobu), mohli by dodať 50 kWh/deň/osobu.

Nesprávne. Energetický výťažok (pomer získanej energie k energii potrebnej na výrobu) strešného systému pripojeného k sieti v severnej Európe so životnosťou 20 rokov je 4 (Richards a Watt, 2007) a viac ako 7 na slnečnejšom mieste, ako napríklad v Austrálii (energetický výťažok viac ako 1 znamená, že ide o užitočnú vec, energeticky rozumnú). Veterné turbíny majú energetický výťažok v priebehu 20 rokov 80.

### Neumožnia nové technológie ďalej zvýšiť účinnosť fotovoltaických článkov?

Som si istý, že FV články budú čoraz lacnejšie, som si tiež istý, že ich výroba bude energeticky menej náročná, takže aj ich energetický výťažok sa zvýši. V tejto kapitole nás však neobmedzovala cena článkov ani energetická náročnosť ich výroby. Zaujímalo nás, aké teoretické množstvo elektriny môžeme získať. FV články s účinnosťou 20 % sú už blízko teoretických možností (pozri poznámky na konci kapitoly). Bol by som prekvapený, ak by odhad možností solárnej energie zaznamenal významný posun smerom nahor.

### Zelená biomasa

*Ako blesk z čistého neba sa zjaví poznanie, že vo svete energetiky uspejete pestovaním trávy na ranči! Stačí ju ešte zožať a premeniť na energiu. To všetko bude čoskoro realita.*

George W. Bush, február 2006

Všetky dostupné bioenergetické riešenia znamenajú najprv pestovanie zelenej biomasy, a potom jej spracovanie. Aké veľké množstvo energie môžeme takýmto spôsobom z biomasy získať? Existujú štyri hlavné spôsoby, ako získať energiu z biologických systémov:

1. Môžeme pestovať špeciálne rastliny, spaľovať ich a vyrábať elektrinu alebo teplo, prípadne oboje. Budeme to nazývať „náhrada uhlia“.
2. Môžeme pestovať špeciálne rastliny (repku, cukrovú trstinu alebo povedzme kukuricu), premeniť ich na etanol alebo bionaftu a nakrmiť nimi autá, vlaky, lietadlá alebo iné zariadenia. Alebo môžeme pestovať geneticky upravené baktérie, kyano-baktérie alebo riasy, ktoré vyrábajú priamo vodík, etanol alebo butanol alebo dokonca elektrinu. O tomto spôsobe budeme hovoriť ako o „náhrade ropy“.
3. Môžeme zobrať vedľajšie produkty poľnohospodárstva a spáliť ich v elektrárnach. Tieto vedľajšie produkty zahŕňajú všetko od slamy (vedľajší produkt pri výrobe Weetabixu [pšeničný pokrm na raňajky – pozn. prekl.]) až po exkrementy hydiny (vedľajší produkt pri výrobe McNuggets [hydínový fast-food – pozn. prekl.]). Takéto spaľovanie znovu nahradzuje uhlie, ale s použitím obyčajných rastlín, nie energetických plodín.

Elektrárne, ktoré spaľujú takéto rastliny, nebudú schopné získať toľko elektrickej práce na jednotku poľnohospodárskej pôdy, ako optimalizované systémy na pestovanie biomasy, majú ale výhodu, že nemonopolizujú krajinu. Spaľovať metán zachytený na skládkach odpadu je podobná stratégia, ale trvalo udržateľná iba dovtedy, kým máme udržateľný aj zdroj odpadu. (Väčšina metánu na skládkach pochádza z jedla; ľudia vo Veľkej Británii vyhodia každý deň asi 300 g jedla). Spaľovanie odpadu z domácností je ďalší menej priamy spôsob získavania energie zo zelenej biomasy.

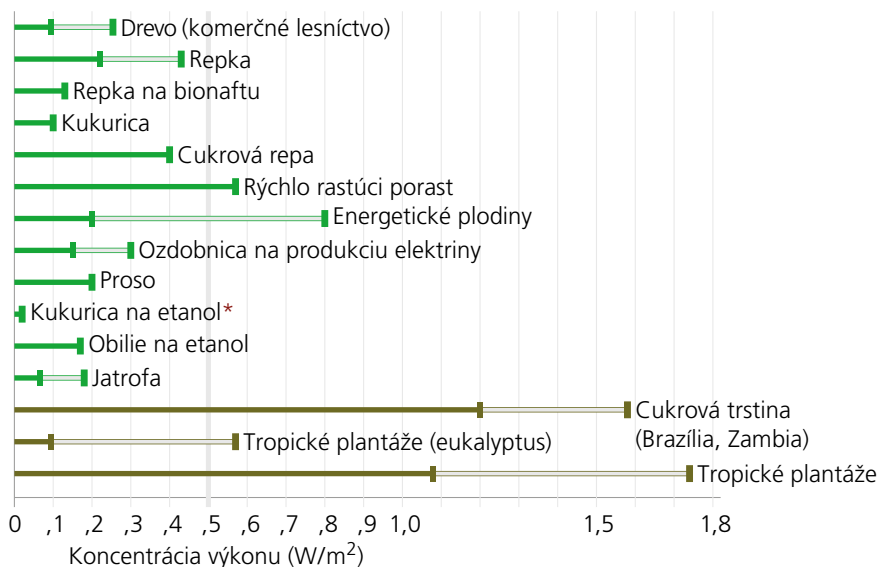
#### 4. Môžeme pestovať rastliny a priamo nimi kŕmiť ľudí alebo zvieratá.

V prípade všetkých týchto procesov sa energia najprv uskladní vo forme chemickej molekuly, akou je napríklad cukor v zelenej rastline. Preto môžeme vypočítať energiu dostupnú z každého z uvedených spôsobov podľa toho, koľko energie sa dostane cez tento prvý krok. Všetky nasledujúce kroky využívajúce traktory, zvieratá, chemické továrne, skládky odpadov alebo elektrárne, energiu už len strácajú. Energia získaná v prvom kroku preto predstavuje hornú hranicu dostupnej energie z rastlinnej biomasy.

Takže najprv vypočítajme energiu predstavovanú týmto prvým krokom. (V kapitole D podrobnejšie rozoberieme maximálny príspevok každého jednotlivého procesu.) Priemerný využiteľný výkon slnečného žiarenia vo Veľkej Británii je  $100 \text{ W/m}^2$ . Najúčinnnejšie rastliny v Európe vytvárajú cukry zo slnečnej energie s účinnosťou asi 2 %, čo znamená, že rastliny nám môžu dodať  $2 \text{ W/m}^2$ ; ale ich účinnosť pri vyššej intenzite žiarenia klesá; najlepší výkon energetických plodín v Európe je skôr  $0,5 \text{ W/m}^2$ . Pokryme 75 % krajiny kvalitnou energetickou plodinou, to znamená  $3\,000 \text{ m}^2$  na osobu, čo sa rovná rozlohe poľnohospodárskej pôdy.



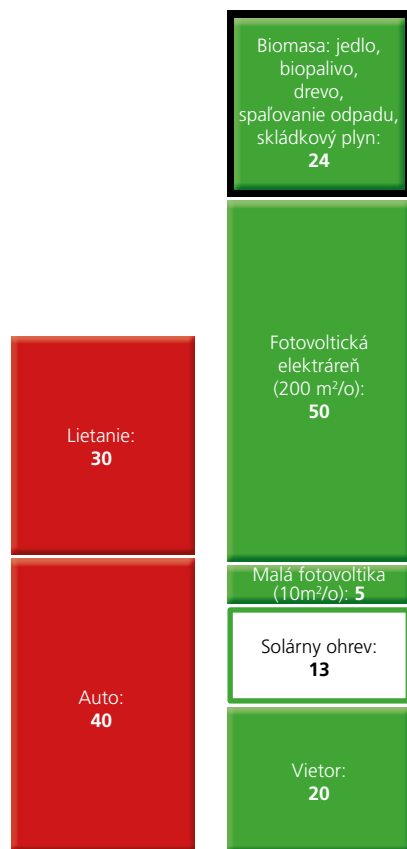
Obrázok 6.10 Tráva ozdobnica (*Miscanthus*), v spoločnosti Dr. Emily Heaton, je vysoká 163 cm. Vo Veľkej Británii má tento druh energetický obsah  $0,75 \text{ W/m}^2$ . Fotografiu poskytla Univerzita v Illinois.



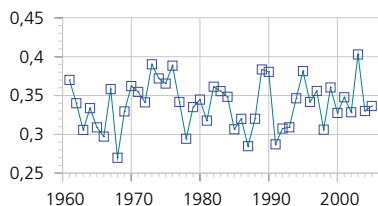
Obrázok 6.11 Energetická produkcia na jednotku plochy pre rôzne druhy rastlín. Zdroje pozri v poznámkach. Tieto výkony závisia od zavlažovania a hnojenia; rozsahy sú naznačené pre niektoré plodiny, napríklad drevo má rozsah od  $0,095 - 0,254 \text{ W/m}^2$ . Tri spodné hodnoty sú pre plodiny v tropických oblastiach. Posledný údaj (tropické plantáže) predpokladá genetickú modifikáciu, hnojenie, a zavlažovanie. V texte používam hodnotu  $0,5 \text{ W/m}^2$  ako výslednú hodnotu pre najlepšie energetické plodiny v severozápadnej Európe.

\* kukurica na etanol má hodnotu  $0,048 \text{ W/m}^2$

## v kWh/d



Obrázok 6.12 Biomasa, vrátane všetkých foriem biopalív, odpadu, spaľovania a jedla: 24 kWh/d na osobu.



Obrázok 6.13 Slnčnosť v Cambridge: počet hodín slnečného svitu za rok, vyjadrených ako zlomok celkového počtu hodín denného svetla.

Takže maximálne množstvo dostupného výkonu, pri zanedbaní všetkých dodatočných nákladov na pestovanie, zber a spracovanie biomasy bude

$$0,5 \text{ W/m}^2 \cdot 3\,000 \text{ m}^2 \text{ na osobu} = 36 \text{ kWh/d na osobu.}$$

Hmm. To nie je príliš veľa, ak vezmeme do úvahy, z akých veľkorysých predpokladov vychádzame. Ak by sme chceli získať biopalivá pre autá alebo lietadlá zo zelených rastlín, všetky ostatné kroky v reťazci od zberu až po nantankovanie sú veľmi neefektívne. Myslím, že je optimistické predpokladať, že celkové straty budú okolo 33 %. Dokonca aj spaľovanie vysušeného dreva v kvalitnom kotli znamená straty tepla komínom až 20 %. Takže množstvo výkonu z biomasy nemôže byť vyššie ako 24 kWh/d na osobu. A nesmieme zabúdať, že chceme časť rastlín využívať na výrobu jedla pre nás a pre naše zvieratá.

Dokázalo by genetické inžinierstvo vytvoriť rastliny, ktoré premieňajú slnečné žiarenie na chemické zlúčeniny účinnejšie? Je to možné, no nenašiel som ani jednu vedeckú štúdiu, ktorá by predpokladala, že rastliny v Európe by mohli získavať viac výkonu ako 1 W/m<sup>2</sup>.

Pridám do zeleného stĺpca 24 kWh za deň na osobu so zdôraznením, že je to nadhodnotený údaj – domnievam sa, že skutočný maximálny výkon dostupný z biomasy bude nižší pre straty pri jej výrobe a spracovaní.

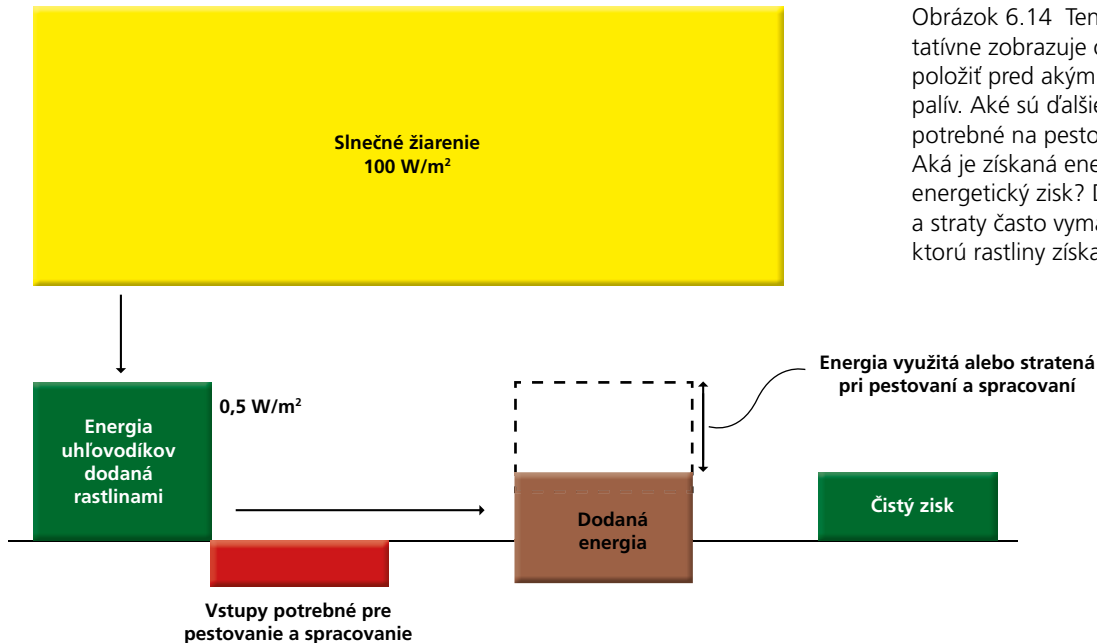
Myslím, že jeden záver je jasný: biopalivá to nezachránia – prinajmenšom nie v krajinách, ako je Veľká Británia, a nie ako možnosť náhrady paliva pre všetku dopravu. Aj keď ponecháme bokom hlavné nevýhody biopalív (ich výroba konkuruje jedlu, ďalšie náklady potrebné na pestovanie a spracovanie často anulujú ich energetický zisk - obrázok 6.14), biopalivá vyrobené z rastlín v európskej krajine, ako je Veľká Británia, dokážu zabezpečiť tak málo energie, že podľa môjho názoru má zmysel o nich hovoriť iba zriedka.

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

35 *Kompenzovať uhol medzi Slnkom a Zemou.* Zemepisná šírka Cambridgea je  $\theta = 52^\circ$ ; intenzitu slnečného žiarenia násobíme  $\cos \theta \approx 0,6$ . Presný korekčný faktor závisí od ročného obdobia a kolíše v rozsahu  $\cos(\theta + 23) = 0,26$  a  $\cos(\theta - 23) = 0,87$ .

- *V typickej lokalite vo Veľkej Británii svieti Slnko asi tretinu dňa.* Na vysočiny dopadne 1 100 hodín slnečného svetla za rok – slnečnosť 25 %. Na najvhodnejšie miesta v Škótsku dopadne 1 400 hodín za rok – 32 %. Cambridge: 1 500 hodín  $\pm$  130 hodín za rok – 34 %. Južné pobrežie Anglicka (najslnnejšia časť): 1 700 hodín za rok – 39 %. [2rqloc] Údaje pre Cambridge z [2szckw]. Pozri aj obr. 6.16.



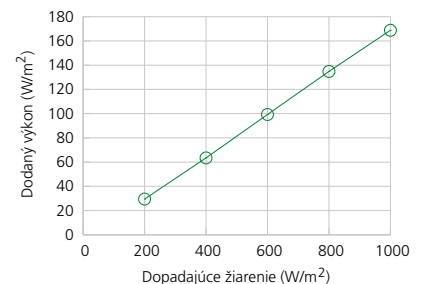
Obrázok 6.14 Tento obrázok kvantitatívne zobrazuje otázky, ktoré si treba položiť pred akýmkoľvek návrhom biopalív. Aké sú ďalšie energetické vstupy potrebné na pestovanie a spracovanie? Aká je získaná energia? Aký je celkový energetický zisk? Dodatočné vstupy a straty často vymažú väčšinu energie, ktorú rastliny získajú.

38 *Priemerné množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia na južne orientovanú plochu vo Veľkej Británii je asi 110 W/m<sup>2</sup> a na plochú zem asi 100 W/m<sup>2</sup>. Zdroj: NASA „Povrchová meteorológia a solárna energia“ <http://eosweb.larc.nasa.gov/>, [5hrxls]. Prekvapuje vás taký malý rozdiel medzi naklonenou a horizontálnou strechou? Mňa áno. Rozdiel je naozaj iba 10 % [6z9epq].*

- *...to by predstavovalo asi 10 m<sup>2</sup> panelov na osobu. Vypočítal som túto plochu tak, že som vzal do úvahy plochu zeme pokrytú budovami na osobu (48 m<sup>2</sup> vo Veľkej Británii – tab. I.6), vynásobil som ju ¼ pre výpočet južne orientovanej časti a pridal som 40 % ako korekciu na sklon plochy. To znamená 16 m<sup>2</sup> na osobu. Panely sa zväčša z praktických dôvodov vyrábajú štvorcové alebo obdĺžnikové, takže určitá časť strechy zostane nepokrytá; preto som zvolil 10 m<sup>2</sup>.*

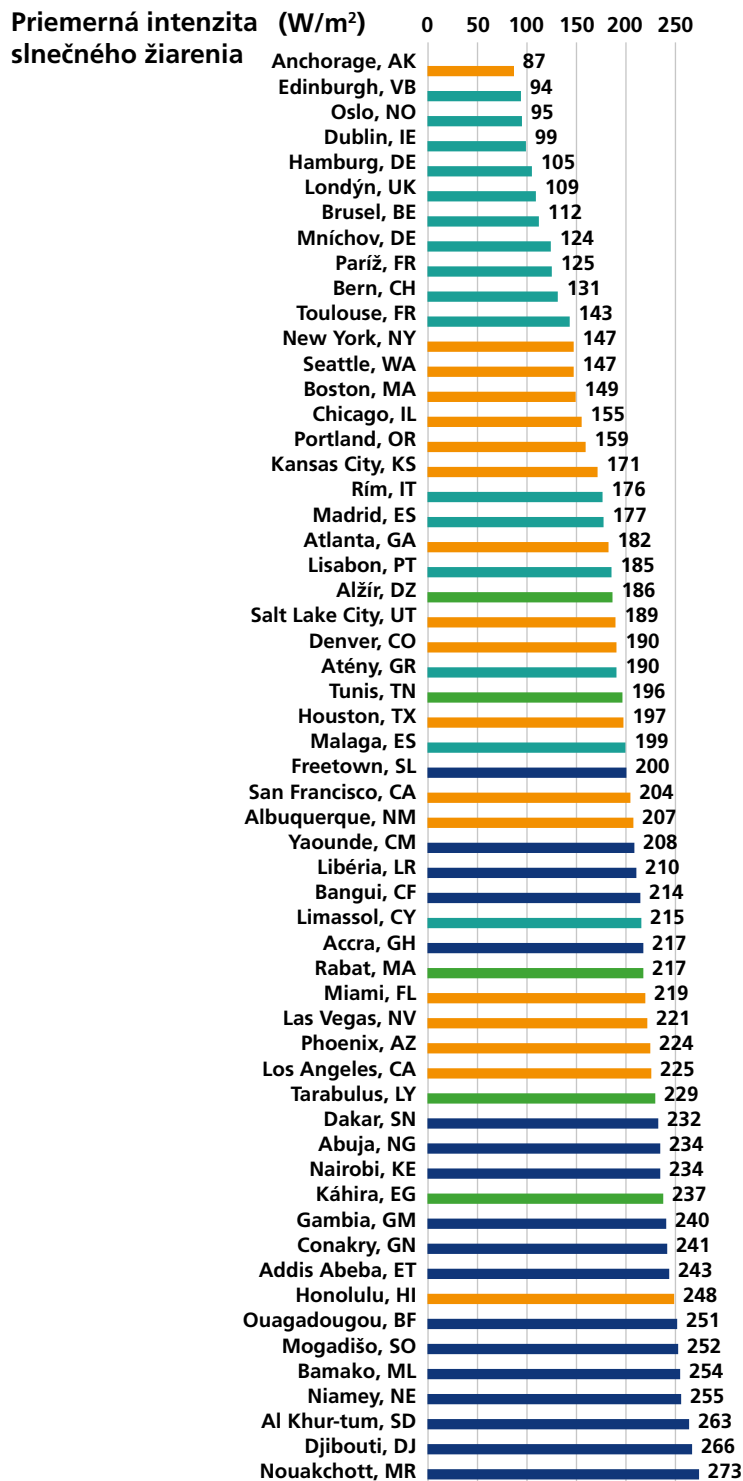
39 *Priemerný výkon fotovoltaických článkov...*

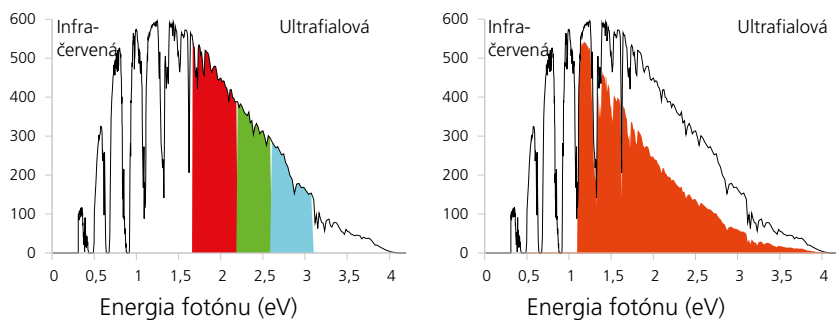
Koluje mýtus, že solárne články vyrobí približne rovnako energie pri zamračenej aj pri jasnej oblohe. Nie je to pravda. Pri zamračenej oblohe články premieňajú určitú časť energie, ale oveľa nižšiu: výroba elektriny sa znižuje asi 10-násobne. Obrázok 6.15 ukazuje, že energia článkov je takmer úmerná intenzite slnečného žiarenia – aspoň pri teplote 25 °C. Aby bola celá záležitosť ešte komplikovanejšia, účinnosť panelov ovplyvňuje aj teplota – čím teplejšie panely, tým nižšia účinnosť (typický pokles je 0,38 % na 1 °C) – ale ak si pozriete údaje zo skutočných článkov, napríklad na [www.solarwarrior.com](http://www.solarwarrior.com), potvrdíte si hlavný záver: výkon pri oblačných podmienkach *výrazne klesá*. Túto skutočnosť sa snažia zahmlievať niektorí podporovatelia solárnej technológie, keď hovoria, že „články sú účinnejšie v zamračenom počasí“. Môže to byť pravda, ale účinnosť by sme nemali zamieňať s celkovým množstvom získanej energie.



Obrázok 6.15 Výkon modulu Sanyo HIP-210NKHE1, ako funkcia intenzity svetla (pri 25 °C a pri predpokladanom napätí 40 V). Zdroj: [www.sanyo-solar.eu](http://www.sanyo-solar.eu).

Obrázok 6.16 Priemerné hodnoty slnečného žiarenia dopadajúceho na horizontálny povrch vo vybraných lokalitách v Európe, Severnej Amerike, a Afrike.





Obrázok 6.17 Časť vysvetlenia Shockley-Queisserovho 31% limitu účinnosti jednoprechodových fotovoltaických článkov.

Vľavo: spektrum poludňajšieho slnečného žiarenia. Vertikálna os ukazuje intenzitu žiarenia vo  $W/m^2$  na eV spektrálneho intervalu. Viditeľná časť spektra je znázornená farbami.

Vpravo: energia zachytená fotovoltaickým systémom s jednou šírkou zakázaného pásma na 1,1 eV je znázornená oranžovou farbou. Fotóny s nižšou energiou, ako má zakázané pásmo, sú nevyužitú. Časť energie fotónov nad energiou zakázaného pásma tiež zostáva nevyužitá; v tomto prípade je to polovica energie každého 2,2 eV fotónu.

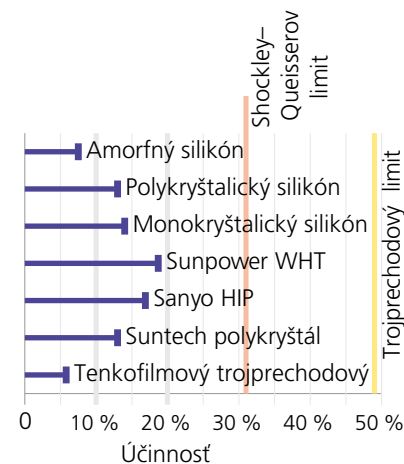
K ďalším stratám dochádza pre žiarenie, ktoré nevyhnutne vzniká pri opätovnej rekombinácii vo fotovoltaickom materiáli.

39 **Typické solárne články majú účinnosť asi 10%; tie drahšie 20%.** Pozri obr. 6.18. Zdroje: Turkenburg (2000), Sunpower [www.sunpowercorp.com](http://www.sunpowercorp.com), Sanyo <http://www.sanyo-solar.eu>, Suntech.

- **Články s účinnosťou vyššou ako 30% by znamenali významný pokrok.** To je citáť podľa Hopfielda a Golluba (1978), ktorí uvažovali o článkoch s koncentrátormi (t. j. zrkadlami alebo šošovkami). Teoretický limit pre štandardný „jednoprechodový“ solárny článok bez koncentrovania, takzvaný Shockley-Queisserov limit, hovorí, že je možné získať najviac 31% energie slnečného žiarenia. (Shockley a Queisser, 1961). Hlavný dôvod tohto limitu je, že štandardné solárne materiály majú vlastnosť, ktorá sa nazýva „šírka zakázaného pásma“. Tá určuje množstvo energie fotónu, ktoré daný materiál premení najefektívnejšie. Slnečné žiarenie obsahuje fotóny s mnohými úrovňami energie; fotóny s energiou nižšou ako má zakázané pásmo zostanú nevyužitú; fotóny s energiou vyššou akú má toto pásmo môžu byť zachytené, ale ich nadbytočná energia (energia vyššia akú má zakázané pásmo) sa stráca do okolia. Koncentrátory (šošovky alebo zrkadlá) znižujú náklady (na watt) fotovoltaických systémov a zvyšujú ich účinnosť. Shockleyho-Queisserov limit solárnych článkov s technológiou koncentrovania má účinnosť 41%. Jediný spôsob, ako prelomiť tento limit, je rozdeliť svetlo na jednotlivé vlnové dĺžky a pre každú z nich vytvoriť zakázané pásmo. Nazývajú sa „viacprechodové“ fotovoltaické články. Nedávno vedci informovali o takýchto článkoch s účinnosťou 40% [21t7t6], <http://www.spectrolab.com>. V júli 2007 vedci z Delawarskej univerzity informovali o článkoch s účinnosťou 42,8% s 20-násobným skoncentrovaním. [6hobq2], [21sx6t]. V auguste roku 2008 Národné laboratórium pre obnoviteľnú energiu (National Renewable Energy Laboratory, NREL) informovalo o účinnosti 40,8% s 326-násobným skoncentrovaním [62ccou]. Je zvláštne, že oba tieto objavy sa prezentovali ako svetové rekordy. Aké viacprechodové články sú dostupné na trhu? Firma Uni-solar predáva tenkofilmové trojprechodové 58 W (maximum) články s plochou  $1 m^2$ . To znamená účinnosť iba 5,8% pri plnej intenzite slnečného žiarenia.

40 **Obrázok 6.5 Solárne FV údaje.** Údaje a fotografiu láskavo poskytol Jonathan Kimmitt.

- **Heliodynamics** - <http://www.hdsolar.com/>. Pozri obr. 6.19. (str. 48) Podobný systém vyrába aj Arontis <http://www.arontis.se/>.



Obrázok 6.18 Účinnosť dnes dostupných solárnych fotovoltaických modulov. V texte predpokladám, že strešná fotovoltaika má účinnosť 20%, a že pozemné inštalácie fotovoltaiky majú 10% účinnosť. V mieste, kde je priemerný tok prichádzajúceho žiarenia  $100 W/m^2$ , panely s účinnosťou 20% vyrobia  $20 W/m^2$ .



Obrázok 6.19 Kombinovaná fotovoltaická jednotka na získavanie tepla a elektriny od Heliodynamics. Plocha reflektora 32 m<sup>2</sup> (o niečo väčšia ako jedna strana dvojposchodového autobusu) dodáva do 10 kW tepla a 1,5 kW elektrického výkonu. V slnečných krajinách dokáže toto zariadenie dodávať 60 kWh/d tepla a 9 kWh/d elektriny. To zodpovedá priemernému výkonu 80 W/m<sup>2</sup> tepla a 12 W/m<sup>2</sup> elektriny (to sú štvorcové metre zariadenia); tieto výkony sa vyrovnajú tokom dodávaným štandardnými tepelnými kolektormi a fotovoltaickými článkami, ale tvar koncentrátorov od Heliodynamics dodáva energiu pri nižšej cene, pretože väčšina materiálu je obyčajné rovné sklo. Pre porovnanie, celková spotreba energie priemerného Európana je 125 kWh/d.

41 *Solárna fotovoltaická elektrárň v Mühlhausene, Bavorsko.* Táto 25-hektárová elektrárň by podľa predpokladov mala prinášať 0,7 MW (17 000 kWh za deň). Metro stanica Stillwell v New Yorku má strechu pokrytú integrovaným amorfným kremíkovým tenkofilmovým FV článkom, ktorý dodáva 4 W/m<sup>2</sup> (Fies a kol., 2007). Solárna elektrárň v Nellise v Nevade dokončená v decembri roku 2007 na ploche 140 akrov by mala vyrábať 30 GWh za rok. To je 6 W/m<sup>2</sup> [5hzs5y]. Solárna elektrárň Serpa v Portugalsku, „najvýkonnejšia solárna elektrárň“, [39z5m5], [2uk8q8] má články otáčajúce sa za Slnkom na ploche 60 hektárov, teda 600 000 m<sup>2</sup> alebo 0,6 km<sup>2</sup>, dodáva 20 GWh za rok, teda 2,3 MW v priemere. To je priemerný výkon 3,8 W/m<sup>2</sup>.

- *Inštalovaný výkon solárnych elektrární potrebných na získanie 50 kWh/d na osobu vo Veľkej Británii je viac ako stonásobok všetkej vyprodukovanej elektriny využívaním FV technológie na svete.* Zásobovanie 50 kWh/d na osobu vo Veľkej Británii by znamenalo potrebný stály výkon 125 GW, čo znamená 1 250 GW inštalovaného výkonu. Na konci roku 2007 bolo vo svete 10 GW inštalovaného výkonu z FV článkov; rýchlosť inštalovania nových kapacít je asi 2 GW za rok. [V skutočnosti pribúda inštalácia FV panelov rýchlejšie; v roku 2009 pribudlo 7,2 GW; v roku 2010 už 16,6 GW. Celosvetový inštalovaný výkon ku koncu roku bol 40 GW. Veľkej Británii teda dnes stačí získať už „iba“ 30-násobok inštalovaného výkonu z FV panelov na svete: [www.epia.org](http://www.epia.org) – pozn. prekl.]

42 *... zakryť 5% nášho územia solárnymi článkami sa z mnohých dôvodov javí nereálne.* Hlavný dôvod, prečo uvažujem o nemožnosti takého postupu je, že Briti radšej využívajú okolitú krajinu na hospodárenie a rekreáciu ako na solárny priemysel. Ďalším dôvodom môže byť cena. Toto nie je kniha o ekonomike, ale tu je zopár údajov. Ak vychádzame z ceny solárnej elektrárne v Bavorsku, zásobovanie 50 kWh/d na osobu by stálo 91 000 euro na osobu; v prípade, že elektrárň funguje ešte 20 rokov bez dodatočných nákladov, cena energie by bola 0,25 euro za kWh. Ďalšie čítanie: David Carlson, BP solar [2ahecp].

43 *Ludia vo Veľkej Británii vyhodia každý deň asi 300 g jedla.* Zdroj: Ventour (2008).

- *Obrázok 6.10 Ozdobnica,* ktorá sa pestuje v USA bez hnojív, má výťažok 24 t/ha/rok suchej biomasy. Suchá ozdobnica má výhrevnosť 4,72 kWh/kg, takže na podmienky Veľkej Británie to znamená merný výkon 0,75 W/m<sup>2</sup>. Zdroje: Heaton a kol. (2004) a [6kq77]. Odhad tohto výťažku vychádza z priemeru nerušeného pestovania za 3 roky.

- *Najúčinnnejšie rastliny v Európe vytvárajú cukry zo solárnej energie s približne 2% účinnosťou; najlepšie výkony energetických plodín v Európe je asi 0,5 W/m<sup>2</sup>.* Pri nižších intenzitách svetla majú najlepšie rastliny vo Veľkej Británii účinnosť 2,4 % na dobre hnojených poliach (Monteith, 1977), ale pri vyšších intenzitách táto účinnosť klesá. Podľa Turkenburga (2000) a Schiermeiera a kol. (2008) je účinnosť premeny solárnej energie na biomasu nižšia ako 1%. Tu je niekoľko zdrojov, z ktorých vychádza môj výpočet 0,5 W/m<sup>2</sup> pre bioenergiu vo Veľkej Británii. Po prvé, Kráľovská komisia pre environmentálne znečistenie odhaduje, že potenciálna koncentrácia získanej energie z energetických plodín vo Veľkej Británii je 0,2 W/m<sup>2</sup>. (Kráľovská komisia pre environmentálne znečistenie, 2004.)



Po druhé, na strane 43 dokumentu Kráľovskej spoločnosti o biopalivách (Pracovná skupina Kráľovskej spoločnosti pre biopalivá, 2008), je *ozdobnica* na čele zoznamu s merným chemickým výkonom  $0,8 \text{ W/m}^2$ .

V Správe o svetovej energii (World Energy Assessment), ktorú publikuje Rozvojový program Spojených národov (UNDP), Rogner (2000) píše: „Ak predpokladáme 45% účinnosť premeny na elektrinu a výťažok 15 ton suchej biomasy na hektár za rok, potrebovali by sme 2 km<sup>2</sup> plantáží na jeden megawatt inštalovaného výkonu elektriny, fungujúceho 4 000 hodín ročne.“ To je koncentrácia elektrického výkonu  $0,23 \text{ W/m}^2$ . (1W (e) znamená 1 watt elektrického výkonu.)

Spoločnosť Energia pre trvalo udržateľný rozvoj (2003) udáva, že rýchlo rastúci porast môže dodať 10 ton suchého dreva na hektár za rok, čo zodpovedá koncentrácii výkonu  $0,57 \text{ W/m}^2$ . (Suché drevo má výhrevnosť 5 kWh na kilogram).

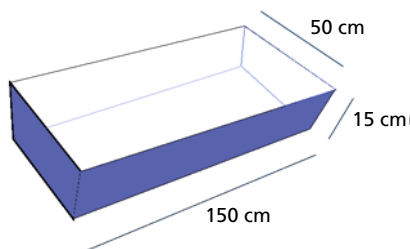
Podľa Archera a Barbera (2004) je okamžitá účinnosť zdravého listu pri optimálnych podmienkach až 5%, ale dlhodobá účinnosť uskladňovania energie modernými plodinami je 0,5 - 1%; Archer a Barber (2004) predpokladajú, že s pomocou genetického inžinierstva je možné zvýšiť účinnosť najmä pri *C4 rastlinách*, pri ktorých sa už v priebehu evolúcie vytvorila účinnejšia fotosyntéza. C4 rastliny nájdeme prevažne v trópech a vyhovujú im vysoké teploty; nerastú pri teplotách pod 10 °C. Medzi C4 rastliny patrí napríklad cukrová trstina, kukurica, cirok a rôzne druhy prosa. Zhu a kol. (2008) vypočítali teoretický limit pre účinnosť premeny slnečného žiarenia do biomasy na 4,6% v prípade C3 rastlín pri 30 °C a dnešnej koncentrácii 380 ppm CO<sub>2</sub> vo vzduchu a na 6% pre C4 rastliny. Podľa nich je najvyššia udávaná účinnosť pre C3 2,4% a pre C4 3,7%; a citujúc Buyera (1982), že priemerná účinnosť hlavných plodín v USA je 3 až 4-násobne nižšia ako tieto rekordné účinnosti (t. j. asi 1%). Jednou z príčin, prečo rastliny nedosahujú teoretické limity, je, že nedokážu dostatočne využívať všetko žiarenie bieleho slnečného svetla. Obe práce (Zhu a kol., 2008; Boyer, 1982) rozoberajú možnosti genetického inžinierstva pre vytvorenie efektívnejších rastlín.

43 *Obrázok 6.11* Čísla v tomto obrázku sú prevzaté z nasledovných prác: Rogner (2000) (celkové energetické výťažky dreva, repky, cukrovej trstiny a tropických plantáží); Bayer Crop Science (2003) (repka na bionaftu); Francis a kol. (2005) a Asselbergs a kol. (2006) (jatrofa); Mabee a kol. (2006) (cukrová trstina, Brazília); Schmer a kol. (2008) (proso prútnaté, okrajová obilnina v USA); Shapouri a kol. (1995) (etanol z kukurice); Kráľovská komisia pre environmentálne znečistenie (2004); Pracovná skupina Kráľovskej spoločnosti pre biopalivá (2008); Energia pre trvalo udržateľný rozvoj Ltd (2003); Archer a Barber (2004); Boyer (1982); Monteith (1977).

44 *Dokonca aj spaľovanie vysušeného dreva v kvalitnom kotli znamená straty tepla kominom až 20%.* Zdroje: Pracovná skupina kráľovskej spoločnosti pre biopalivá (2008); Kráľovská komisia pre environmentálne znečistenie (2004).



Obrázok 7.1 Zástavba nových domov.



Obrázok 7.2 Voda vo vani.

$$230 \text{ V} \cdot 13 \text{ A} = 3\,000 \text{ W}$$

Mikrovlnná rúra:  
1400 W max.

Chladnička  
-mraznička:  
100 W max,  
18 W priemer



Obrázok 7.3 Elektrický príkon zariadení na ohrev a chladenie.

## 7 Ohrev a chladenie

Táto kapitola sa venuje otázke, koľko energie spotrebujeme na udržiavanie vhodnej teploty nášho okolia – doma a v práci – alebo na ohrievanie či chladenie jedla, nápojov, na pranie a umývanie riadu.

### Príprava teplej vody

Či spotrebujeme najviac teplej vody v dome na kúpanie, sprchovanie, umytie riadu alebo pranie bielizne, to závisí od nášho životného štýlu. Vypočítajme najskôr množstvo energie, ktoré treba na kúpanie.

Objem vody na kúpanie je  $50 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 150 \text{ cm} \approx 110$  litrov. Povezme, že teplota kúpeľa je  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $120 \text{ F}$ ) a voda pritekajúca do domu má  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Merné teplo vody, potrebné na jej ohriatie o  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ , je  $4\,200 \text{ J}$  na liter. Energia potrebná na zvýšenie teploty vody o  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  je

$$4\,200 \text{ J/liter}^\circ\text{C} \times 110 \text{ litrov} \times 40 \text{ }^\circ\text{C} \approx 18 \text{ MJ} \approx 5 \text{ kWh.}$$

Takže na jeden kúpeľ spotrebujeme **5 kWh**. Na porovnanie, pri sprchovaní (30 litrov) spotrebujeme asi **1,4 kWh**.

### Kanvice a variče

Veľká Británia ako civilizovaná krajina má zásobovanie domácností elektrinou s napätím 230 voltov. Pod takýmto napätím nám v elektrickej kanvici s výkonom 3 kW zovrie niekoľko litrov vody za pár minút. Prečo 3 kW? Pretože to je najväčší výkon, ktorý dokáže dodať zásuvka bez prekročenia maximálneho povoleného prúdu 13 ampérov. V krajinách, kde je napätie 110 voltov, zovretie vody trvá dvojnásobne dlho.

Ak máme v domácnosti kanvicu zapnutú 20 minút denne, v priemere spotrebuje **1 kWh za deň**. (V nasledujúcich príkladoch budem uvažovať o spotrebe „na domácnosť“ a o dvoch ľuďoch v jednej domácnosti.)

Jedna malá platnička na elektrickom variči má taký istý výkon ako hriankovač: 1 kW. Pre variče s vyšším výkonom je to 2,3 kW. Ak používate varič s dvoma platničkami pri plnom výkone pol hodiny denne, zodpovedá to **1,6 kWh za deň**.

Mikrovlnná rúra má často svoj výkon viditeľne vyznačený: tá moja má 900 W, ale v skutočnosti potrebuje asi 1,4 kW [to je jej elektrický príkon – pozn. prekl.]. Ak používate mikrovlnnú rúru 20 minút denne, zodpovedá to **0,5 kWh za deň**.

Priemerná elektrická rúra potrebuje viac: približne 3 kW, keď je naplno zapnutá. Ak ju používate hodinu denne, z toho polhodinu na plný výkon, spotrebuje **1,5 kWh za deň**.

Zariadenie	Príkon	Čas za deň	Elektrina za deň
<b>Varenie</b>			
- kanvica	3 kW	1/3 h	1 kWh/d
- mikrovlnná rúra	1,4 kW	1/3 h	0,5 kWh/d
- elektrický varič	3,3 kW	1/2 h	1,6 kWh/d
- elektrická rúra	3 kW	1/2 h	1,5 kWh/d
<b>Čistenie</b>			
- práčka	2,5 kW		1 kWh/d
- sušička	2,5 kW	0,8 h	2 kWh/d
- sušenie v sušiarňi			0,5 kWh/d
- sušenie na sušiaku			0 kWh/d
- umývačka riadu	2,5 kW		0,5 kWh/d
<b>Chladenie</b>			
- chladnička	0,02 kW	24 h	0,5 kWh/d
- mraznička	0,09 kW	24 h	2,3 kWh/d
- klimatizácia	0,6 kW	1 h	0,6 kWh/d

Tabuľka 7.4 Spotreba elektriny zariadeniami na ohrev a chladenie v domácnosti.

### Sušenie šiat a kuchynského riadu

Zapnutá práčka, umývačka a sušička potrebujú približne 2,5 kW.

Práčka spotrebuje na jedno vypratíe približne 80 litrov vody a 1 kWh elektriny keď zohrieva na 40 °C. Ak na sušenie šiat namiesto sušičky používame sušiareň, stále potrebujeme teplo na odparenie vody – približne 1,5 kWh na vysušenie jednej dávky bielizne, namiesto 3 kWh.

Aby sme zosumarizovali výpočet energie, ktorá sa týka prípravy teplej vody, myslím, že určite môžeme použiť odhad **12 kWh za deň na osobu**.

### Teplý vzduch – doma a v práci

A teraz, spotrebuje sa viac energie na prípravu teplej vody a teplého jedla, alebo na ohrev vzduchu našich budov pomocou vykurovacích telies?

Jeden zo spôsobov, ako vypočítať energiu, ktorú odovzdajú vykurovacie telesá vzduchu v miestnostiach za deň, je predstaviť si budovu vykurovanú elektrickým konvektorom, ktorého výkon si vieme predstaviť lepšie. Výkon malého elektrického kozubu alebo elektrického konvektora (ohrievača vzduchu) je 1 kW (24 kWh za deň). Počas zimy potrebujete jeden takýto konvektor na osobu. V lete žiadny. Takže budeme uvažovať, že moderný človek potrebuje 12 kWh za deň na ohrev vzduchu. Ale väčšina ľudí vykuruje viac miestností, ako práve potrebuje (povedzme kuchyňu, obývaciu izbu, chodbu a kúpeľňu). Takže pravdepodobný odhad spotreby na ohrev vzduchu je približne dvojnásobok, teda **24 kWh za deň na osobu**.

Doplňok k tejto kapitole, kapitola E, obsahuje podrobnejší opis toho, čo sa deje s teplom v budovách. Tento model umožňuje vypočítať úspory tepla pri znížení teploty v miestnostiach termostatom, dvojítych oknách atď.

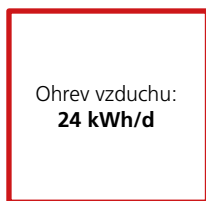
Ohrev vody:  
**12 kWh/d**

Obrázok 7.5 Celková spotreba teplej vody, doma aj v práci – vrátane kúpania, sprchovania, prania bielizne, varičov, kanvíc, mikrovlnných rúr a umývania riadu – je približne 12 kWh za deň na osobu. Tomuto rámčeku som priradil svetlejšiu farbu, že takýto merný príkon môžeme dodávať ako teplo, nie ako elektrinu.



Obrázok 7.6 Veľký elektrický konvektor: 2 kW.

### Ohrev vonkajších priestorov a ďalší luxus



Obrázok 7.7 Teplý vzduch celkovo – doma aj v práci – znamená približne **24 kWh za deň na osobu**.

Ľudia čoraz viac vykujú vonkajšie priestory átriovými infračervenými ohrievačmi. Typický átriový infračervený ohrievač má výkon 15 kW. Ak používate jeden z týchto ohrievačov niekoľko hodín každý večer, spotrebujete ďalších **30 kWh za deň**.

Ešte luxusnejší doplnok je elektrická deka. Elektrická deka na manželskú posteľ spotrebuje 140 W; ak ju zapnete na hodinu, spotrebuje **0,14 kWh**.

## Chladienie

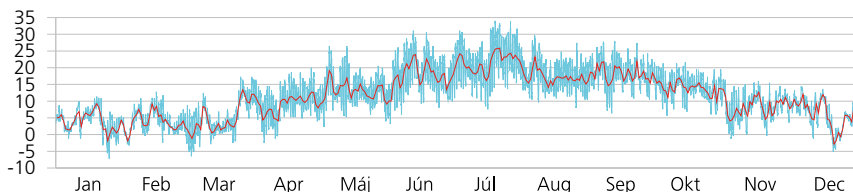
### Chladnička a mraznička

Teplotu regulujeme nielen pri ohrievaní vody a vzduchu, ktoré sú okolo nás, ale aj pri chladiení v zariadeniach, ktoré máme vo svojich obydliah. Moja kombinovaná chladnička s mrazničkou, pozri obrázok 7.3, má príkon v priemere 18 W, čo je približne 0,5 kWh/d.

### Klimatizácia

Klimatizáciu považujú za nevyhnutnosť v krajinách, kde teploty v lete stúpajú nad 30 °C a náklady na energiu, ktorú treba na dostatočné chladienie, môžu byť veľmi vysoké. Táto kniha je o spotrebe energie vo Veľkej Británii, kde teploty zväčša klimatizáciu nevyžadujú (obr. 7.8).

Obrázok 7.8 Teplota v stupňoch Celzia v Cambridgei, denné (červená čiara) a polhodinové (modrá čiara) priemery v roku 2006.

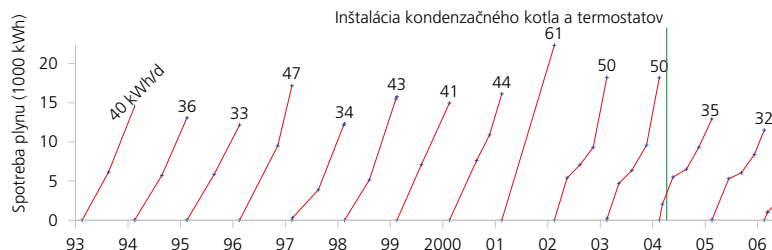


Hospodárny spôsob chladienia predstavuje tepelné čerpadlo využívajúce teplo vzduchu. Elektrická klimatizačná jednotka pripojená na okne, ktorá je určená pre jednu miestnosť, má príkon 0,6 elektriny a poskytuje 2,6 kW chladiaceho výkonu. Pri výpočte spotreby energie na klimatizáciu vo Veľkej Británii predpokladám, že priemerný obyvateľ ju zapne na 12 hodín denne 30 dní v roku, pričom spotrebuje 7,2 kWh. Priemerná spotreba za rok predstavuje **0,6 kWh/d**.

Chladienie: **1 kWh/d**

Obrázok 7.9 Celková spotreba energie na chladienie – vrátane chladničky (chladnička/mraznička) a na klimatizáciu v lete – **1 kWh/d**.

Celkový výsledok energie spotrebovanej na chladienie – 1 kWh/d na osobu – zahŕňa klimatizáciu a chladničku s mrazničkou. Firmy tiež chladia potraviny pri doprave z výroby do obchodu. V kapitole 15 sa budeme venovať tomu, aké sú energetické náklady v potravinovom reťazci.



Obrázok 7.10 Kumulatívna spotreba plynu v mojej domácnosti v kWh v jednotlivých rokoch od 1993 do 2005. Číslo na konci čiary z každého roku je priemerná merná spotreba energie v kWh za deň. Ak chcete zistiť, čo sa stalo v roku 2007, čítajte ďalej.

## Celkový ohrev a chladenie

Náš hrubý odhad celkovej spotrebovanej energie jednej osoby na varenie, ohrev a chladenie doma aj v práci je **37 kWh/d na osobu** (12 na prípravu teplej vody, 24 na ohrev vzduchu, 1 na chladenie).

Dôkaz, že tento odhad je približne správny alebo o niečo nižší, pochádza z mojej vlastnej spotreby plynu, ktorá pri spriemerovaní za 12 rokov predstavuje 40 kWh za deň (obr. 7.10). Zároveň si myslím, že v tom čase som bol pomerne skromný spotrebiteľ energie na ohrev, ale nedával som si pozor na skutočnú spotrebu. V kapitole 21 sa dozvieme, koľko energie som ušetril, keď som si túto spotrebu začal všímať.

Pretože ohrev je pomerne výrazná položka v našom stĺpci spotreby, porovnajme môj výpočet s národnými štatistikami. Na úrovni krajiny, priemerná domáca spotreba energie na vykurovanie, prípravu teplej vody a varenie v roku 2000 bola 21 kWh/d na osobu a spotreba na vykurovanie, chladenie, zásobovanie a prípravu jedál a prípravu teplej vody bola v sektore služieb 8,5 kWh/deň na osobu. Na výpočet vykurovania pracoviska si zoberme ako vzor spotrebu plynu na univerzite v Cambridgei v rokoch 2006 - 2007: 16 kWh/d na jedného zamestnanca.

Ak zrátame tieto tri čísla, druhý odhad pre národnú spotrebu energie na ohrev je  $21 + 8,5 + 16 \approx 45$  kWh/d na osobu, ak je univerzita v Cambridgei priemerným pracoviskom. Dobré, to je pomerne blízko nášmu prvému odhadu 37 kWh/d.

## Poznámky a ďalšie čítanie

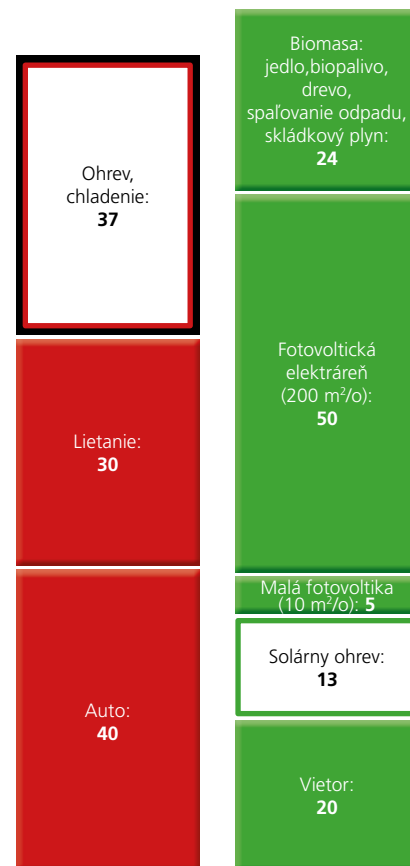
Strana číslo

50 *Rúra potrebuje 3 kW.* Je zrejmé, že existuje celá škála výkonov. Mnohé rúry majú maximálny výkon 1,8 kW alebo 2,2 kW. Tie najvýkonnejšie spotrebujú až 6 kW. Napríklad elektrická rúra a varič Whirlpool AGB 487/WP 4 má 5,9 kW rúru a štyri 2,3 kW variče.

[http://www.kcmltd.com/electric\\_oven\\_ranges.shtml](http://www.kcmltd.com/electric_oven_ranges.shtml)

<http://www.1stforkitchens.co.uk/kitchenovens.html>

## v kWh/d



Obrázok 7.11 Ohrev a chladenie – približne 37 jednotiek za deň na osobu. Tento rámček nie je vyfarbený, čo naznačuje, že výkon možno získať pomocou nízko kvalitnej tepelnej energie.

- 51 *Sušiareň spotrebuje približne 1,5 kWh na usušenie jednej dávky bielizne.* Tento výpočet vychádza z váhy mojej vlastnej bielizne: váha suchej bielizne, 4 kg, sa ešte zvýši o ďalších 2,2 kg po vypratí v práčke Bosch (dokonca aj po dobrom nemeckom odstredení). Latentné teplo vyparovania vody pri 15 °C je zhruba 2 500 kJ/kg. Aby som vypočítal dennú spotrebu v tabuľke 7.4, predpokladal som, že priemerný človek perie bielizeň každé tri dni, a že to odčerpáva cenné teplo z domu počas zimných mesiacov (v lete znamená používanie sušiarne mierne klimatizovanie, pretože odparujúca sa voda ochladzuje vzduch v dome).
- 53 *Na úrovni krajiny bola priemerná domáca spotreba v roku 2000: 21 kWh/d na osobu; spotreba v sektore služieb bola 8,5 kWh/d na osobu.* Zdroj: Ministerstvo obchodu a priemyslu (2002a).
- *Na univerzite v Cambridgei bola spotreba plynu v rokoch 2006 - 2007: 16 kWh/d na jedného zamestnanca.* Spotreba plynu a vykurovacieho oleja na Univerzite v Cambridge (nezahŕňajúc College) bola 76 GWh v rokoch 2006 - 2007. Uvažoval som s počtom zamestnancov 13 300 (8 602 personál a 4 667 postgraduálnych študentov). Aby som nezabudol, spotreba elektriny bola 99,5 GWh. Zdroj: Univerzitná správa verejných služieb.

## 8 Voda

Na získanie elektriny z vody potrebujeme prevýšenie a zrážky. Vypočítajme, koľko energie možno získať, keď napršaná energia steká do oceánov.

Z praktických dôvodov pri tomto výpočte rozdelím Veľkú Britániu na dve časti: nižšie, suchšie územia, ktoré budem nazývať nížiny; a vyššie, daždivejšie územia, ktoré budem nazývať vysočiny. Bedford a Kinlochewe mi poslúžia ako reprezentatívne oblasti.

Začneme nížinami. Na výpočet potenciálnej energie dažďovej vody v nížinách vynásobíme množstvo zrážok v Bedforde (584 mm za rok) mernou hmotnosťou vody ( $1\,000\text{ kg/m}^3$ ), gravitačným zrýchlením ( $10\text{ m/s}^2$ ) a typickou nadmorskou výškou nížiny (povedzme  $100\text{ m n. m.}$ ). Výsledný merný výkon je  $0,02\text{ W/m}^2$ . To je výkon na jednotku plochy zeme, na ktorú dopadá dážď.

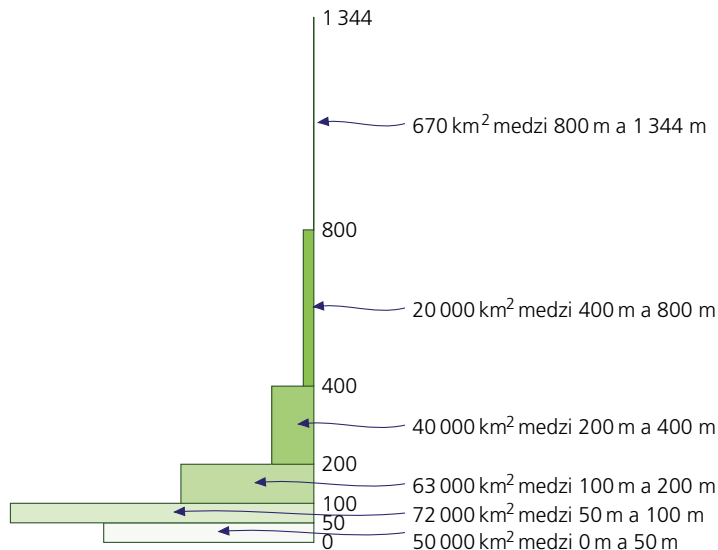
Keď túto hodnotu vynásobíme plochou na jednu osobu ( $2\,700\text{ m}^2$ , ak nížiny rozdelíme rovnomerne medzi všetkých 60 miliónov Britov), zistíme, že hrubé priemerné množstvo energie je  $1\text{ kWh}$  za deň na osobu. Toto je najvyššia horná hranica energie vody v prípade, že na všetkých riekach sú priehrady a každá kvapka je dokonale zužitkovaná. V skutočnosti však prehradíme iba rieky s veľkým spádom a povodím oveľa menším, ako je celá krajina. Väčšina vody sa taktiež vyparí skôr, ako sa dostane do turbíny a žiadny hydroenergetický systém nedokáže využiť všetok potenciál vody. Dostávame sa tak k nevyhnutnému záveru o energii vody z nížin. Ľudia môžu s radosťou budovať rôzne malé vodné elektrárne, ale tie nikdy nedokážu zabezpečiť viac ako  $1\text{ kWh}$  za deň na osobu.

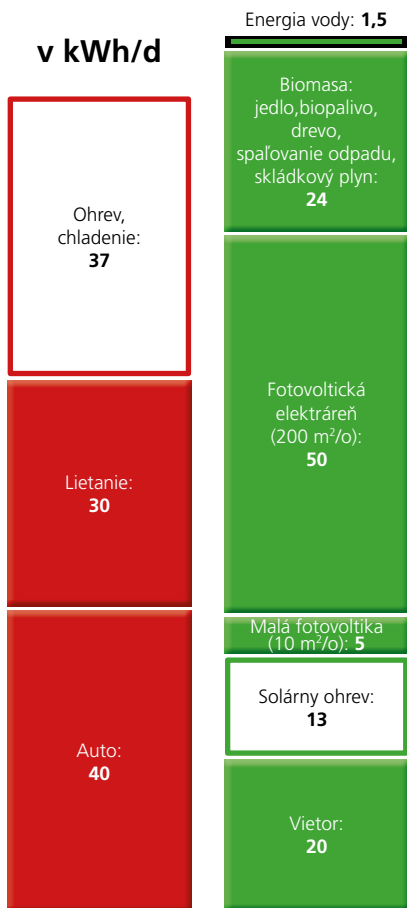


Obrázok 8.1 Priehrada Nant-y-Moch, súčasť 55 MW hydroenergetického systému vo Walese. Fotografia: Dave Newbould, [www.origins-photography.co.uk](http://www.origins-photography.co.uk).



Obrázok 8.2 Nadmorské výšky krajiny vo Veľkej Británii. Obdĺžniky ukazujú plochu krajiny pre každú výšku.





Obrázok 8.3 Energia vody.



Obrázok 8.4 60 kW vodné koleso.

Pozrime sa na vysočiny. Kinlochewe je daždivejšie miesto. Dopadne sem 2 278 mm zrážok za rok, štvornásobne viac ako v Bedforde. Je tu tiež výrazné výškové prevýšenie – veľké oblasti sú nad 300 m nad morom. Takže celkovo je možný asi 12-násobný nárast v koncentrácii energie vo vyšších polohách. Hrubý merný výkon je asi 0,24 W/m<sup>2</sup>. Ak by vysočiny zdieľali tento výkon so zvyškom Veľkej Británie (pri rozlohe 1 300 m<sup>2</sup> na osobu), horná hranica produkcie je približne 7 kWh za deň na osobu. Tak ako v prípade nížin ide o hornú hranicu, ktorá nepočíta s vyparovaním a predpokladá dokonalé využitie každej kvapky.

Aký je teda praktický horný limit? Predpokladajme, že 20 % nášho výpočtu, t. j. 1,4 kWh za deň a zaokrúhlením započítame aj potenciál vody v nížinách: 1,5 kWh za deň.

Skutočný energetický potenciál vodných elektrární vo Veľkej Británii je dnes 0,2 kWh/d na osobu, takže 1,5 kWh/d by vyžadovalo sedemnásobný nárast výrobných kapacít energie z vody.

### Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

55 *Štatistiky zrážok* sú prebraté z Centra počasia BBC.

56 *Hrubý merný výkon je asi 0,24 W/m<sup>2</sup>*. Tento odhad môžeme porovnať so skutočným merným výkonom priehrady Loch Sloy dokončenej v roku 1950 (Ross, 2008). Rozloha povodia Loch Sloy je približne 83 km<sup>2</sup>; množstvo zrážok je približne 2 900 mm za rok (o niečo vyššie ako 2 278 mm/rok v prípade Kinlochewe); a produkcia elektrárne v roku 2006 bola 142 GWh za rok, čo zodpovedá mernému výkonu povodia 0,2 W/m<sup>2</sup>. Povrch priehrady Loch Sloy je približne 1,5 km<sup>2</sup>, teda môžeme vypočítať aj merný výkon na plochu priehrady: to je 11 W/m<sup>2</sup>. Takže svahy kopcov, akvadukty a tunely, prinášajúce vodu do Loch Sloy, koncentrujú výkon zdroja až 55-násobne.

- *Skutočný výkon vodných elektrární vo Veľkej Británii je dnes 0,2 kWh/d na osobu*. Zdroj: MacLeay a kol. (2007). V roku 2006 dodávali veľké vodné nádrže 3 515 GWh (z elektrárne s inštalovaným výkonom 1,37 GW) a malé vodné nádrže 212 GWh (0,01 kWh/d/o) (s výkonom 153 MW) elektriny.

V roku 1943, v čase najväčšieho rozmachu výstavby týchto zariadení, Spolok inžinierov severného Škótska pre elektrinu z vody odhadoval, že vysočiny v Škótsku môžu zabezpečiť až 6,3 TWh ročne v 102 zariadeniach, čo by zodpovedalo 0,3 kWh/d na osobu vo Veľkej Británii (Ross, 2008).

Glendoe, prvý projekt veľkej vodnej elektrárne vo Veľkej Británii od roku 1957, bude mať výkon až 100 MW a očakáva sa, že zabezpečí 180 GWh ročne. Povodie priehrady Glendoe je 75 km<sup>2</sup>, takže merný výkon povodia je 0,27 W/m<sup>2</sup>. V médiách je Glendoe prezentovaná ako „dostatočne veľká na zásobovanie každej domácnosti v meste veľkosti Glasgowa“. Stavím sa, že ľudia budú mať dojem, že Glendoe poskytne dostatok elektriny „na zásobovanie Glasgowa“. To je však ďaleko od skutočnosti. Ak zoberieme 180 GWh ročne a rozdelíme ich medzi 616 000 obyvateľov Glasgowa, dostaneme 0,8 kWh na osobu. To je asi 5 % priemernej spotreby elektriny zo 17 kWh/d/o. Toto 20-násobné zveličenie vzniklo ako dôsledok zamerania sa na inštalovaný výkon namiesto priemerného, ktorý je 5-krát menší; a zameraním sa na domácnosti namiesto celkovej spotreby elektriny Glasgowa (str. 329).



## 9 Svetlo

### Svetlo doma a v práci

Najvýkonnejšie žiarovky v dome potrebujú 250 W, nočné lampy pri posteli 40 W. V prípade klasických žiaroviek sa väčšina elektriny premení namiesto svetla na neviditeľné teplo. Fluorescenčná žiarivka vyrobí rovnaké množstvo svetla a potrebuje štvornásobne menej elektriny ako žiarovka.

Koľko elektriny spotrebuje primerane majetný človek na svietenie? Môj hrubý odhad, vychádzajúci z tabuľky 9.2 je, že typický dom s dvomi obyvateľmi a mixom klasických a úsporných svietidiel spotrebuje 5,5 kWh denne alebo 2,7 kWh za deň na osobu. Predpokladám, že každý obyvateľ má osvetlené pracovisko, kde má spoločné osvetlenie so svojimi kolegami; ak predpokladám, že pracovisko spotrebuje 1,3 kWh/d na osobu, dostaneme **4 kWh za deň na osobu**.

### Verejné a dopravné osvetlenie

Potrebuje pre presný výpočet zahrnúť aj verejné osvetlenie alebo je rozhodujúce svetlo doma a v práci? V skutočnosti pouličné svietidlá spotrebujú približne 0,1 kWh/d na osobu, dopravné svetlá iba 0,005 kWh/d na osobu, čo je zanedbateľné v porovnaní s našim vlastným osvetlením doma a v práci. A čo iné spôsoby verejného osvetlenia, napríklad osvetlené značky alebo dopravné majáčky? Je ich menej ako pouličných svietidiel a tie sme už zhodnotili ako zanedbateľné, takže náš pôvodný odhad 4 kWh/d na osobu nemusíme meniť.

### Svetlá automobilov

V niektorých krajinách musia vodiči pri jazde autom vždy svietiť [vrátane Slovenska – pozn. prekl.]. Ako sa takéto nariadenie prejaví v dodatočnej spotrebe auta? Predpokladajme, že auto svieti žiarovkami s príkonom 100 W. Elektrina pre tieto svetlá pochádza z motora s 25% účinnosťou, ktorý poháňa generátor s 55% účinnosťou, takže požadovaný výkon je **730 W**. Na porovnanie, typické auto idúce priemernou rýchlosťou 50 km/h so spotrebou jedného litra na 12 km má priemernú spotrebu **42 000 W**. Takže zapnuté svetlá počas jazdy znamenajú 2 % energie navyše.

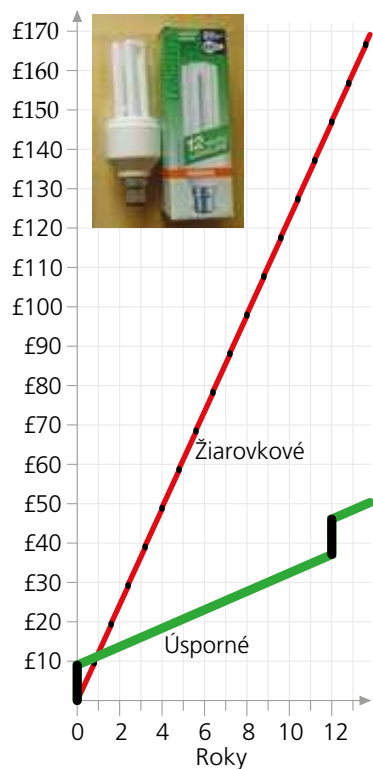
Svietidlo	Príkon	Čas za deň	Elektrina za deň na dom
10 klasických žiaroviek	1,0 kW	5 h	5 kWh
10 úsporných žiaroviek	0,1 kW	5 h	0,5 kWh

v kWh/d



Obrázok 9.1 Osvetlenie: 4 kWh za deň na osobu.

Tabuľka 9.2 Spotreba elektriny na osvetlenie domu. Pravdepodobné celkové množstvo je 5,5 kWh za deň na dom, a podobne v práci; možno 4 kWh za deň na osobu.



Obrázok 9.3 Celkové kumulatívne náklady používania tradičnej 100 W žiarovky pri 3 hodinách svietenia, v porovnaní s okamžitým nahradením žiarivkou Osram Dulux Longlife (na obrázku). Predpoklady: cena elektriny 10 penci za kWh; výmena tradičnej žiarovky stojí vždy 45 penci; úsporná žiarivka stojí 9 libier. (Viem, že ich možno kúpiť aj lacnejšie, ale graf ukazuje, že drahšie sú aj spoľahlivejšie.)



Obrázok 9.4 Philips 11 W vedľa Omicron 1,3 W LED žiarovky.

A čo elektrické autá budúcnosti? Prikon typického elektrického auta je približne 5 000 W. Takže prídavok 100 W znamená nárast spotreby o 2 %. Táto spotreba by klesla, ak by všetky autá svietili svetlami LED [diódy emitujúce svetlo – pozn. prekl.], ale ak sa tejto problematike budeme venovať ešte chvíľu, skončíme s diagnózou „every-little-help“ [„každá maličkosť pomáha“ – pozn. prekl.].

### Ekonomika úsporných svietidiel

Snažím sa vyhýbať debatám o ekonomike, v prípade žiariviek urobím výnimku. 20 W žiarivka Osram uvádza ten istý svetelný tok ako 100 W klasická žiarovka. Navyše je jej životnosť až 15 000 hodín (alebo 12 rokov pri svietení 3 hodiny denne). Naopak, klasická žiarovka má životnosť približne 1 000 hodín. Takže za obdobie 12 rokov máte na výber tieto možnosti (obr. 9.3): buď kúpite 15 klasických žiaroviek a 1 500 kWh elektriny (čo stojí približne 150 libier); alebo kúpite jednu úspornú žiarovku a 300 kWh elektriny (čo stojí približne 30 libier).

### Mal by som čakať, kým doslúži žiarovka, kým ju vymením za žiarivku?

Zdá sa, že ide o plytvanie, však? Nieкто vynaložil zdroje na výrobu žiarovky; nemali by sme započítať túto pôvodnú investíciu a používať žiarovku až dokonca? Ale ekonomická odpoveď je jasná: *ak budete naďalej svietiť starou žiarovkou, budete vymieňať dobré peniaze za zlé*. Ak nájdete uspokojivú úspornú žiarivku, vymeňte je za starú žiarovku hneď.

### A čo použitie ortute v kompaktných žiarivkách? Sú LED svietidlá lepšie ako fluorescenčné?

Podľa výskumníkov budú LED svietidlá [diódové svietidlá – pozn. prekl.] ešte úspornejšie ako sú fluorescenčné svietidlá. Skontroloval som čísla podľa svojich posledných nákupov: 11 W kompaktná fluorescenčná žiarovka Phillips Genie (obr. 9.4) má svetelný tok 600 lumenov, čo je účinnosť **55 lumenov na watt**; pri klasických žiarivkách je to **10 lumenov na watt**; 1,3 W lampička Omicron s 20 bielymi LED-kami má svetelný tok 46 lumenov, čo predstavuje účinnosť **35 lumenov na watt**. Takže toto LED svietidlo je rovnako účinné ako malá žiarivka. Priemyselná výroba LED technológie má však ešte možnosti zlepšenia. Životnosť diódových svietidiel je až 50 000 hodín [ide o životnosť LED čipov, nie celého svietidla. Renomované spoločnosti udávajú životnosť svietidiel s LED technológiou na úrovni 25 až 50 000 hodín, osemdásobne viac ako v prípade žiariviek – pozn. prekl.]. Pri písaní týchto riadkov vidím, že [www.cree.com](http://www.cree.com) predávajú LED diódy s energiou **100 lumenov na watt**. V budúcnosti sa predpokladá, že biele LED diódy budú mať účinnosť až 150 lumenov na watt [ynjzej]. Očakávam, že v priebehu nasledujúcich rokov bude znieť odporúčanie jednoznačne v prospech LED svietidiel, a to nielen z pohľadu energetickej účinnosti, ale aj z pohľadu zníženia znečistenia ortuťou.

## Mýty

**„Nemá význam prejsť na svetlá šetriace energiu. ‚Vyplytvaná‘ energia, ktorú vydávajú, ohrieva môj dom, takže nie je vyplytvaná.“**

Tomuto mýtu sa venuje kapitola 11, strana 71. [Táto okolnosť celkom neplatí pri spôsobe regulácie odberu tepla na vykurovanie pomocou termo-regulačných ventilov, ktoré zohľadňujú vnútorné energetické zisky – poz. prekl.]

**Poznámky a ďalšie čítanie**

Strana číslo

**57** *V skutočnosti spotrebujú pouličné svetlá približne 0,1 kWh/d na osobu...*

Na 10 obyvateľov pripadá asi 1 pouličná lampa, každá s odberom 100 W, zapnutá 10 hodín denne. To je 0,1 kWh za deň na osobu.

- *...a dopravné svetlá iba 0,005 kWh/d na osobu.* Veľká Británia má 420 000 dopravných a peších signalizačných svetiel, čo spotrebuje 100 miliónov kWh elektriny za rok. Pri rozdelení 100 miliónov kWh za rok medzi 60 miliónov obyvateľov je to 0,005 kWh/d na osobu.
- *Je menej osvetlených značiek ako pouličných svietidiel.* [www.highwayelectrical.org.uk] Vo Veľkej Británii je spolu 7,7 milióna pouličných svietidiel, osvetlených značiek a dopravných majáčikov. Z nich asi 7 miliónov pripadá na pouličné svietidlá a 1 milión na osvetlenie cestných značiek. Dopravných signálov je 210 000. Podľa DUKES, 2005, je priemerný príkon verejného osvetlenia 2 095 GWh/rok, čo zodpovedá 0,1 kWh/d na osobu.
- *generátor s 55% účinnosťou* – zdroj: en.wikipedia.org/wiki/Alternator. Generátory v elektrárnach sú oveľa účinnejšie pri premene mechanickej práce na elektrinu.

Typ svetelného zdroja	Svetelný tok (lm/W)
Žiarovka	10
Halogénová žiarovka	16 - 24
LED zdroj bielej farby	35
Kompaktná žiarivka	55
Lineárna žiarivka	94
Sodíková výbojka	150

Tabuľka 9.5 Účinnosť svietenia komerčne dostupných svetiel. V budúcnosti by mali biele LED svietidlá zabezpečiť 150 lumenov na jeden watt.

## 10 Vietor na mori

*Morský veterný park London Array bude znamenať kľúčový príspevok k naplneniu cieľov obnoviteľnej energie Veľkej Británie.*

James Smith, predseda Shell UK

*Elektrina je príliš dôležitá na to, aby slúžila veternému priemyslu ako program na vytváranie pracovných miest.*

David J. White



Obrázok 10.1 Kentish Flats – morský veterný park v plytkom mori. Každý rotor má priemer 90 m so stredom vo výške 70 m. Každá „3 MW“ turbína má hmotnosť 500 ton, pričom polovica z nej je v základoch. Fotografie: © Elsam (elsam.com). Použité s povolením.

Nad morom vanú silnejšie a stabilnejšie vetry ako nad pevninou. Veterné parky na mori tak majú väčší výkon na jednotku plochy ako veterné parky na pevnine. Veterný park Kentish Flats v ústí rieky Temža, približne 8,5 km od miest Whistable a Herne Bay, ktorý je v prevádzke od konca roku 2005, mal podľa predpokladov vyrábať 3,2 W/m<sup>2</sup>. V roku 2006 dosiahol priemerný výkon 2,6 W/m<sup>2</sup>.

Budem predpokladať, že koncentrácia výkonu 3 W/m<sup>2</sup> (teda o 50 % viac ako náš výpočet pre vietor nad pevninou) je vhodný odhad pre morské veterné parky v okolí Veľkej Británie.

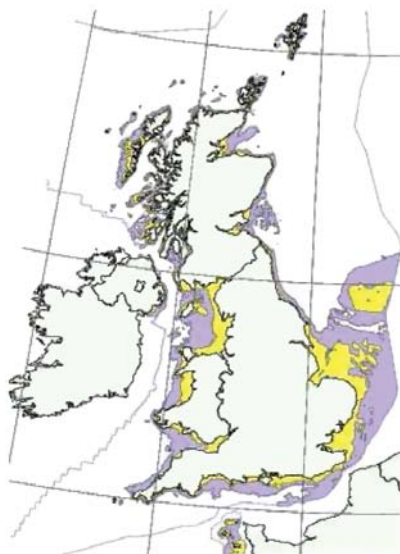
Teraz potrebujeme odhad plochy mora, ktorú je teoreticky možné pokryť veternými turbínami. Zvykne sa rozlišovať medzi turbínami v *plytkých* a v *hlbokých* moriach, tak ako ukazuje obrázok 10.2. Všeobecne sa udáva, že turbíny v *plytkých* moriach (s hĺbkou do 25 - 30 metrov), hoci sú dvojnásobne drahšie ako turbíny na pevnine, sú ekonomicky návratné, ak uvažujeme o miernej finančnej dotácii; turbíny v *hlbokých* oceánoch v súčasnosti nie sú ekonomicky návratné. V roku 2008 existoval iba jeden experimentálny prototyp takéhoto veterného parku, ktorý všetku vyrobenú elektrinu posielal k neďalekej ropnej veži s názvom Beatrice.

### Plytké moria

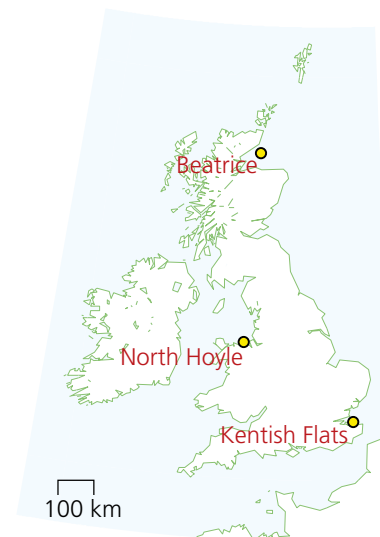
V rámci britských teritoriálnych vôd pokrývajú plytké moria približne 40 000 km<sup>2</sup> – väčšina z toho je pri pobreží Anglicka a Walesu. Ide o plochu dvojnásobne väčšiu, ako má Wales.

Priemerný možný výkon z turbín v plytkých moriach na celej ich ploche by bol 120 GW alebo 48 kWh/d na osobu. Ťažko sa však možno domnievať, že by takáto zástavba neprekážala lodnej doprave. Som si istý, že veľká časť z tejto plochy by bola pre veterné parky nepoužiteľná; navrhujem, aby sme uvažovali o jednej tretine z tohto priestoru (prosím, pre pesimistickejší pohľad si pozrite aj poznámky na konci tejto knihy!). Takže maximálny možný výkon z veterných turbín v plytkých moriach je **16 kWh za deň na osobu**.

Skôr, ako sa dostaneme ďalej, rád by som zdôraznil veľkú plochu – až dve tretiny Walesu – ktorú by sme potrebovali na výrobu 16 kWh/d na osobu. Ak by sme zobrali celé pobrežie Veľkej Británie (dĺžka 3 000 km) a do šírky 4 km rozostavali turbíny, pokryli by sme nimi plochu 13 000 km<sup>2</sup>. To je plocha,



Obrázok 10.2 Britské teritoriálne vody s hĺbkou menej ako 25 m (žltá) a hĺbkou medzi 25 m a 50 m (fialová). Údaje sú z DTI Atlasu obnoviteľných morských zdrojov. © Crown copyright.



ktorú musíme zastavať, ak chceme dodať 16 kWh/d na osobu. Ešte inak, uvažujme o počte turbín. 16 kWh/d na osobu nám zabezpečí 44 000 turbín s výkonom 3 MW, čo znamená 15 turbín na kilometer pobrežia, ak by boli rovnomerne rozostavané okolo 3 000 km pobrežia.

Stavba morských veterných turbín je náročná pre korozívny vplyv morkej vody. Veterný park Horns Reef v Dánsku má 80 turbín. Všetky je nutné rozobrať a vymeniť už po 18 mesiacoch vystavenia morskému vzduchu. Turbíny v Kentish Flats čelia podobným problémom s prevodovkami, tretina z nich potrebovala náhradu v priebehu 18 mesiacov.

## Hlboké moria

Rozloha morí s hĺbkou medzi 25 - 50 m je približne 80 000 km<sup>2</sup>, teda rozloha Škótska. Pri predpoklade koncentrácie výkonu 3 W/m<sup>2</sup> by hlbokomorské veterné parky mohli vyrábať ďalších 240 GW alebo 96 kWh/d na osobu, ak by sme turbínami vyplnili celú túto oblasť. Musíme myslieť na koridory pre lode. Znovu predpokladám, že na turbíny môžeme využiť jednu tretinu tejto rozlohy; v tom prípade ide o oblasť o 30 % väčšiu ako Wales a väčšina sa nachádza vo vzdialenosti väčšej ako 50 km od pobrežia. Výsledok: ak by sme zastavali turbínami plochu širokú 9 km okolo celého pobrežia, získali by sme **32 kWh za deň na osobu**. Je to obrovské množstvo energie, ale stále nie dosť na to, aby vyvážilo našu obrovskú spotrebu. A to sme ešte nespomínali problém nestálosti vetra. Vrátime sa k tomu v kapitole 26.

Zahrniem potenciál hlbokomorských veterných parkov do stĺpca produkcie s tým, že experti na veternú energiu ju zatiaľ nepovažujú za ekonomicky zmysluplnú.

v kWh/d



Obrázok 10.3 Vietor z morí.

## Niektoré porovnania a náklady

Takže ako to priebežne vyzerá v súťaži spotreby a výroby? Ak pridáme oboje, teda vietor z plytkých aj hlbokých morí do stĺpca produkcie, zelený stĺpec vedie. Rád by som však v tejto súvislosti pripomenul, aké *jednoduché* je zvýšiť stĺpec na strane spotreby a aké *ťažké* je pridávať na strane produkcie. Pri písaní tohto odseku mi je pomerne chladno, takže zvyšujem výkon svojho termostatu. Je také ľahké zvýšiť spotrebu energie o 30 kWh denne. Ale získanie ďalších 30 kWh denne na osobu z obnoviteľných zdrojov vyžaduje priemyselné využitie životného prostredia v takom rozsahu, že je ťažké si to predstaviť.

Aby sme dodali 48 kWh za deň z hlbokomorských veterných parkov každému obyvateľovi Veľkej Británie, potrebovali by sme **60 miliónov ton betónu a ocele** – jednu tonu na obyvateľa. Ročná svetová výroba ocele je asi 1 200 miliónov ton, teda 0,2 tony na obyvateľa. V priebehu druhej svetovej vojny americké lodenice postavili 2 751 lodí Liberty, každá z nich potrebovala 7 000 ton ocele – to je dokopy 19 miliónov ton ocele alebo 0,1 tony na Američana. Takže postaviť 60 miliónov ton veterných turbín nie je nemožné; ale nemyslite si, že je to jednoduché. Postavenie toľkých veterných turbín vyžaduje toľko námahy, ako postavenie lodí Liberty.

Na porovnanie, aby sme získali 48 kWh za deň z jadrovej energie na osobu vo Veľkej Británii, potrebovali by sme **8 miliónov ton ocele a 140 miliónov ton betónu**. Môžeme tiež porovnať 60 miliónov ton hlbokomorských turbín, ktoré sa snažíme predstaviť si, s existujúcou infraštruktúrou na fosílna palivá, ktorá už v Severnom mori existuje (obr. 10.4). 200 inštalácií a 7 000 km potrubí v britských vodách Severného mora obsahovalo v roku 1997 **8 miliónov ton ocele a betónu**. Novovybudovaný plynovod Langed medzi Nórskom a Veľkou Britániou, ktorý bude viesť plyn s kapacitou 25 GW (10 kWh/d na osobu), spotreboval ďalší **1 milión ton ocele a 1 milión ton betónu** (obr. 10.5).

Britská vláda oznámila 10. decembra 2007, že povolí vybudovanie veterných morských turbín s inštalovaným výkonom 33 GW (čo by znamenalo v priemere 10 GW pre Veľkú Britániu alebo 4,4 kWh/d na osobu). Tento plán niektorí znalci veterného priemyslu nazývajú „vzdušným zámkom“. Predpokladajme zaokrúhlené číslo 4 kWh za deň na osobu. To predstavuje jednu štvrtinu môjho odhadu pre turbíny v plytkých moriach 16 kWh za deň na osobu. Aby sme získali tento priemerný výkon, potrebujeme približne 10 000 „3 MW“ veterných turbín, takých, ako je tá zobrazená na obrázku 10.1 (ich výkon je „3 MW“, ale v priemere dodávajú 1 MW. „3 MW“ dávam do úvodzoviek, aby bolo zrejmé, že ide o inštalovaný, teda maximálny možný výkon).

Koľko by stálo vybudovanie týchto „33 GW“ výkonu? Keďže „90 MW“ veterný park Kentish Flats stál 105 miliónov libier, „33 GW“ by stálo približne 33 miliárd libier. Jedným zo spôsobov, ako priblížiť cenu 33 miliárd libier z vetra so ziskom 4 kWh/d na osobu, je rozdeliť ju na každého obyvateľa Veľkej Británie; znamená to 550 libier na osobu. To je, aby som nezapadol, oveľa lepší obchod ako stavba mikroturbín. Inštalácia mikroturbíny na streche dnes stojí 1 500 libier a aj pri predpoklade veľmi optimistickej priemernej rýchlosti vetra 6 m/s získame iba 1,6 kWh/d. V skutočnosti v typickom mestskom prostredí Veľkej Británie takéto mikroturbíny dodávajú 0,2 kWh/d.

Ďalším problémom brániacim inštalácii veterných turbín je potreba špeciálnych lodí. Na zdvihnutie 10 000 veterných turbín („33 GW“) v priebehu 10 rokov by sme potrebovali zhruba 50 zdvižných nákladných lodí. Každá z nich stojí približne 60 miliónov libier, takže by bola potrebná dodatočná investícia 3 miliardy libier. To nie je prekážka v porovnaní s už spomínanými 33 miliardami libier, určite však ide o detail, ktorý vyžaduje perspektívne plánovanie.

### Platia vtáky privysokú daň?

Naozaj turbíny zabíjajú „obrovské množstvá vtákov“? Veterným parkom sa nedávno dostalo nepríjemnej publicity z Nórska. Veterné turbíny na ostrovoch Smola, blízko severozápadného pobrežia, zabili v priebehu 10 mesiacov 9 orliakov morských [*Haliaeetus albicilla* – pozn. prekl.]. Chápem obavy organizácie BirdLife International o blaho vzácných vtákov. Ale domnievam sa, že vždy je dôležité pozrieť sa na čísla. Veterné turbíny, ktoré v Dánsku získavajú 19 % elektriny, zabijú podľa odhadov ročne 30 000 vtákov. Horor! Zakážte veterné turbíny! Vieme tiež, že doprava každoročne zabije v Dánsku jeden milión vtákov, teda 30-násobne väčší horor! 30-násobne väčší tlak na zákaz automobilov! A len v samotnej Veľkej Británii zabijú mačky 55 miliónov vtákov (obr. 10.6). [Toto porovnanie nie je celkom správne, pretože turbíny ohrozujú najmä vzácne druhy dravcov či netopierov, mačky pre tieto druhy hrozbou určite nie sú – pozn. prekl.]

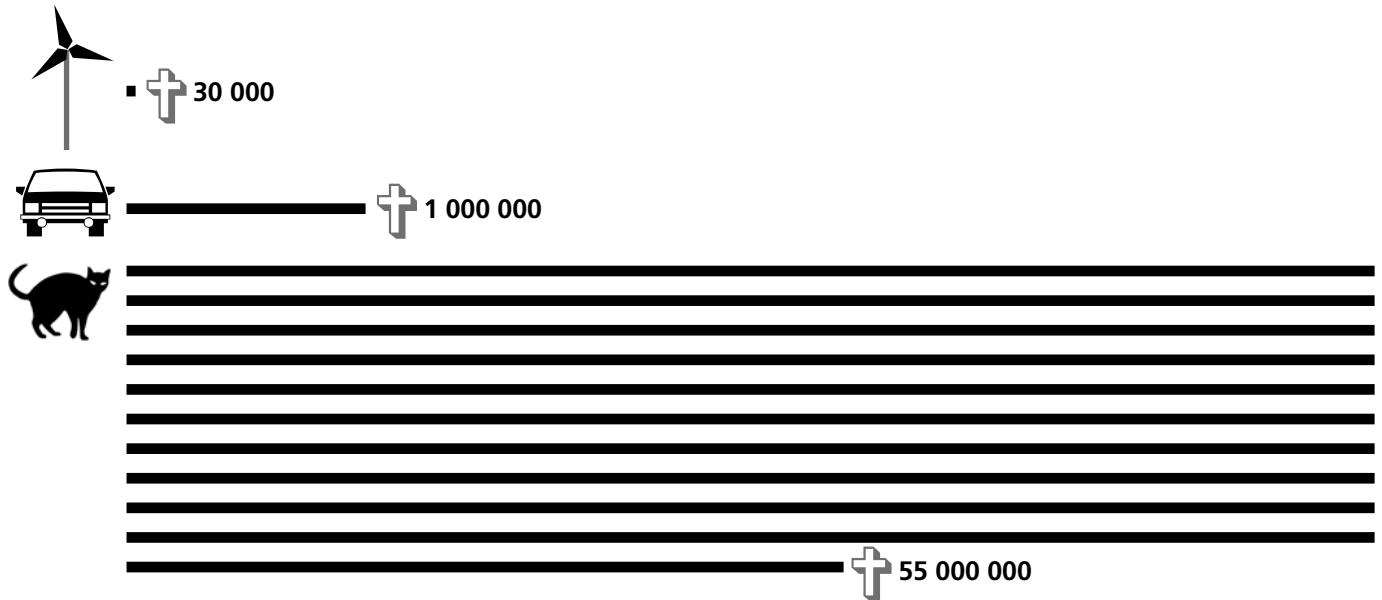
Ak by som sa riadil iba emóciami, rád by som žil v krajine bez áut a veterných turbín, s množstvom mačiek a vtákov (a mačky by lovilí vtáky, zatiaľ čo orliaky morské z Nórska by zasa lovilí tieto mačky, aby udržali rovnováhu). V čo však naozaj dúfam, je, že rozhodnutia o autách a turbínach sa uskutočňujú po pozorných a racionálnych úvahách, nie iba na základe emócií. Možno veterné turbíny potrebujeme!



Obrázok 10.4 Plošina Magnus v severnom britskom sektore v Severnom mori obsahuje 71 000 ton ocele. V roku 2000 táto plošina vyťažila 3,8 milióna ton ropy a plynu – výkon 5 GW. Stála 1,1 miliardy libier. Fotografie: Terry Caver.



Obrázok 10.5 Rúry pre Langeled. Od Bredero-Shaw [brederoshaw.com].



Obrázok 10.6 Zabité vtáky. Ročné úmrtia vtákov v Dánsku spôsobené veternými turbínami a autami, a ročné úmrtia vtákov vo Veľkej Británii spôsobené mačkami. Čísla podľa Lomborga (2001). Náraz do okna spôsobuje podobný počet úmrtí ako mačky.

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

### 60 *Veterný park Kentish Flats v ústí rieky Temža...*

Pozri [www.kentishflats.co.uk](http://www.kentishflats.co.uk). Jeho 30 veterných turbín V90 Vestas má celkový maximálny výkon 90 MW a predpovedaný priemerný výkon 32 MW (s predpovedaným faktorom zaťaženia 36 %). Priemerná rýchlosť vetra vo výške rotačnej osi je 8,7 m/s. Turbíny stoja v 5 m hlbokoj vode, vo vzdialenosti 700 metrov od seba, na ploche 10 km<sup>2</sup>. Koncentrácia výkonu tohto parku tak bola odhadovaná na 3,2 W/m<sup>2</sup>. V skutočnosti bol priemerný výkon 26 MW, takže priemerný faktor zaťaženia v roku 2006 bol 29% [wbd80]. To zodpovedá priemernej koncentrácii výkonu 2,6 W/m<sup>2</sup>. Veterný park North Hoyle pri Prestatyn v severnom Walese mal v roku 2006 vyšší faktor zaťaženia - 36%. Jeho tridsať 2 MW turbín sa rozprestiera na území 8,4 km<sup>2</sup>. Priemerná koncentrácia výkonu teda bola 2,6 W/m<sup>2</sup>.

- *zatiaľ čo turbíny v plytkých moriach sú dvojnásobne drahšie ako turbíny na pevnine, sú ekonomicky zmysluplné, ak uvažujeme o miernej finančnej dotácii.*  
Zdroj: Dánska spoločnosť pre vietor [windpower.org](http://windpower.org)
- *ale turbíny v hlbokých oceánoch v súčasnosti nie sú ekonomicky zmysluplné.*  
Zdroj: dokument Britskej spoločnosti pre veternú energiu, september 2005, [www.bwea.com](http://www.bwea.com). Napriek tomu projekt hlbokomorských veterných turbín v roku 2007 vztýčil dve turbíny blízko ropného poľa Beatrice, 22 km od východného pobrežia Škótska (obr. 10.8). Každá turbína má inštalovaný výkon „5 MW“ a stojí v 45 m hlbokoj vode. Výška rotačnej osi: 107 metrov; priemer 126 m. Všetku vyrobenú elektrinu využijú ropné plošiny. Nie je to úžasné? 10 MW projekt stál 30 miliónov libier – túto cenu troch libier za watt (pri plnom výkone) môžeme porovnať s Kentish Flats, 1,2 libier za watt (105 miliónov libier za 90 MW). <http://www.beatricewind.co.uk/>.



Región	Hĺbka 5 až 30 metrov		Hĺbka 30 až 50 metrov	
	Plocha (km <sup>2</sup> )	Potenciálny zdroj (kWh/d/o)	Plocha (km <sup>2</sup> )	Potenciálny zdroj (kWh/d/o)
Severo-západ	3 300	6	2 000	4
Greater Wash	7 400	14	950	2
Ústie Temže	2 100	4	850	2
Ostatné	14 000	28	45 000	87
<b>SPOLU</b>	<b>27 000</b>	<b>52</b>	<b>49 000</b>	<b>94</b>

Tabuľka 10.7 Potenciál získavania energie vetra na mori na strategických územiach, ak by tieto územia boli úplne pokryté veternými turbínami. Podľa Ministerstva obchodu a priemyslu (2002b).

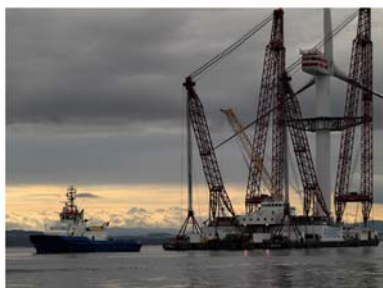
### 60 Plocha dostupná pre turbíny na mori.

Ministerstvo pre obchod a priemysel (DTI) v dokumente z roku 2002 „Budúcnosť morských turbín“ prináša podrobný popis oblastí vhodných pre veterné turbíny na mori. Tabuľka 10.7 ukazuje odhadované zdroje na ploche 76 000 km<sup>2</sup> plytkých a hlbokých morí. Ich odhadovaný príspevok v prípade, že tieto oblasti sú turbínami zastavané *úplne*, je 146 kWh/d na osobu (52 kWh/d/o pochádza z plytkých a 94 kWh/d/o z hlbokých morí). Ale potenciálny odhad DTI pre veterné turbíny na mori je iba 4,6 kWh za deň na osobu. Mohlo by byť zaujímavé opísať, ako prišli z pôvodných 146 kWh/d na osobu k **4,6 kWh/d na osobu**. Prečo je ich konečný výpočet o toľko nižší ako náš? Po prvé, uvažujú o týchto limitoch: oblasť musí ležať do vzdialenosti 30 km od pobrežia a byť hlboká menej ako 40 m; morské dno nesmie mať väčší sklon ako 5 stupňov; lodné cesty, vojenské zóny, potrubia, rybárske oblasti a chránené územia sú vylúčené. Po druhé, predpokladali, že bude možné využiť iba 5 % potenciálnych miest (v dôsledku zloženia morského dna a projektových obmedzení); znížili kapacitu o 50 % pre všetky lokality menej ako 16 km od pobrežia, aby ich prijala verejnosť; ďalej znížili inštalovaný výkon lokalít s rýchlosťou vetra nad 9 m/s o 95 %, aby započítali vplyv „prekážok pre výstavbu v dôsledku nepriaznivého prostredia“ a v lokalitách s priemernou rýchlosťou vetra 8 - 9 m/s znížili ich inštalovaný výkon o 5 %.

61 *...ak by sme zobrali celé pobrežie Veľkej Británie (dĺžka 3 000 km) a do šírky 4 km rozostavali turbíny...* Pedant poznamená, že „pobrežie Veľkej Británie nemá presne definovanú dĺžku, pretože pobrežie je fraktál“. Áno, áno, je to fraktál. Ale, drahý pedant, prosím, zober si mapu a rozprestri pás turbín do šírky 4 km okolo pevniny Veľkej Británie a uvidíš, že tvoj pás je naozaj dlhý 3 000 km.

- *Horns Reef* (Horns Rev). Ťažkosti s týmto „160 MW“ dánskym veterným parkom pri Jutlande [www.hornsev.dk] opisuje Halkema (2006). Keď funguje, jeho faktor využitia je 0,43 a priemerný výkon na jednotku plochy je 2,6 W/m<sup>2</sup>.

62 *Lode Liberty* <http://www.liberty-ship.com/html/yards/introduction.html>



Obrázok 10.8 Stavba Beatrice, ukážka veternej turbíny v hlbokých moriach. Fotografie poskytla Talisman Energy (UK) Limited.

62 ...infraštruktúra pre fosilné palivá v Severnom mori obsahovala 8 miliónoch ton ocele a betónu – Rice a Owen (1999).

- Britská vláda oznámila 10. decembra 2007, že povolí vybudovanie morských turbín s inštalovaným výkonom 33 GW [25e59w].

- ..."vzdušný zámok". Zdroj: Guardian [2t2vjq].

63 Koľko by stálo vybudovanie týchto „33 GW“ výkonu? Podľa DTI z novembra roku 2002 elektrina z turbín na mori stála približne 50 libier za MWh (5 pencí za kWh) (DTI, 2002b, str. 21). Ekonomické faktory sa však menia a cena vetra sa zjavne zdvihla: Firma Shell stiahla svoj záväzok postaviť elektrárňu London Array. Je to preto, lebo turbíny v moriach sú také drahé, že vláda musí zvýšiť počet ROC (certifikátov záväzkov obnoviteľnej energie) na jednotku morskej veternej energie. ROC je jednotka dotácie pre určitý typ výroby elektriny z obnoviteľných zdrojov. Štandardná hodnota ROC je 45 libier, s 1 ROC na MWh, takže s predajnou cenou približne 40 £/MWh dostanú obnoviteľné generátory 85 libier za MWh. Takže jeden ROC na MWh nie je dostatočne vysoká dotácia na pokrytie nákladov 92 libier na jeden MWh. V tom istom dokumente sú odhady pre ostatné zdroje obnoviteľnej energie nasledujúce (stredné odhady v roku 2010). Vietor na pobreží: 65 - 89 £/MWh; spolu spaľovanie biomasy: 53 £/MWh; veľké vodné elektrárne: 63 £/MWh; skládkový plyn: 38 £/MWh; fotovoltaika: 571 £/MWh; energia vln: 196 £/MWh; prílivová energia: 177 £/MWh. „Dale Vince, výkonný riaditeľ spoločnosti Ecotricity poskytujúcej zelenú energiu, zapojenej v projekte stavby veterných turbín na pevnine, povedal, že podporuje plány [turbín v moriach] vlády, ale iba ak nekonkurujú turbínam na pevnine. „Je nebezpečné prehliadať fantastické zdroje, ktoré máme v tejto krajine... Podľa našich odhadov by stálo postavenie 33 GW okolo 40 miliárd libier, ktoré presadzuje Hutton. My môžeme urobiť to isté na pevnine za 20 miliárd libier.“ [57984r]

- V typickom mestskom prostredí Veľkej Británie takéto mikroturbíny dodávajú 0,2 kWh/d. Zdroj: Tretia medziročná správa, <http://www.warwickwindtrials.org.uk/2.html>. Najlepšie výsledky podľa štúdie Warwick Wind Trials má Windsave WS1000 (1 kW turbína) v Daventry, upevnená vo výške 15 m nad zemou a dodávajúca v priemere 0,6 kW/d. Niektoré mikroturbíny však dodávajú iba 0,05 kWh za deň – Zdroj: Donnachadh McCarthy: „Môj rok bez uhlíka“, The Independent, December 2007 [6oc3ja]. Veterná turbína WS1000, ktorú vo Veľkej Británii možno kúpiť v obchodoch B&Q, vyhrala cenu Ecobollock [niečo ako „Ekohlupák“ – pozn. prekl.] od Marka Brinkleyho, autora knihy Housebuilder's bible: „Je čas priznať, že priemysel vyrábajúci veterné turbíny na strechy domov je úplné fiasko. Peniaze sa s dobrým úmyslom investovali do nápadu, ktorý nefunguje. Toto je takmer ako neúspech Sinclair C5 z 90. rokov.“ [elektrický tricykel, ktorý mal vo Veľkej Británii finančný neúspech – pozn. prekl.] [5soql2]. Met Office [Meteorologická služba – pozn. prekl.] a Carbon Trust publikovali v júli 2008 správu [6g2jm5], ktorá odhaduje, že ak by sa nainštalovali mikroturbíny na všetky domy, kde je to vo Veľkej Británii ekonomické, dokopy by vyrábali zhruba 0,7 kWh/d/o. Podľa nich sú veterné turbíny pripevnené na strechách domov v mestách zväčša ešte horšie ako neužitočné: „V podmienkach mnohých miest nemusia turbíny na strechách vrátiť množstvo emisií CO<sub>2</sub> spojených s ich výrobou, inštaláciou a existenciou.“

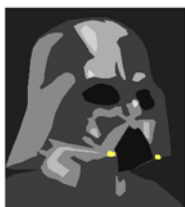


Obrázok 10.9 Kentish Flats. Fotografie: © Elsam (elsam.com). Použité s povolením.

63 *Každá zdvižná nákladná loď stojí 60 miliónov libier.* Zdroj: <http://news.bbc.co.uk/1/hi/magazine/7206780.stm>. Odhadol som, že by sme ich potrebovali zhruba 50 za predpokladu, že by bolo k dispozícii 60 vhodných pracovných dní každý rok a zdvihnutie jednej turbíny by trvalo 3 dni.

Ďalšie zdroje: Britská databáza veternej energie [[www.bwea.com/ukwed/](http://www.bwea.com/ukwed/)].

## 11 Elektrické spotrebiče



Nabíjačka

Darth Vader

Obrázok 11.1 Ničiteľia planéty.  
Nájdí rozdiel.

Nabíjačky mobilných telefónov predstavujú jedno z najväčších nebezpečenstiev spoločnosti. Správy BBC nás o tomto probléme informovali od roku 2005:

„Všetky jadrové elektrárne budú za pár rokov odstavené. Ako dokážeme vo Veľkej Británii svietiť aj naďalej?

**...vytiahnite svoju nabíjačku mobilného telefónu zo zásuvky, keď ho nenabíjate.“**

Nanešťastie ani o rok neskôr sa Veľká Británia nepoučila a BBC musela konštatovať:

**„Súťaž v plytvaní energie vyhráva Veľká Británia.“**

Ako na to prišli? Podľa BBC je to preto, že:

„65 % britských spotrebiteľov necháva nabíjačky v zásuvkách.“

Podľa spôsobu, akým spravodajcovia hovoria o týchto planéty ničiacich čiernych škatuľkách je jasné, že toto zlo sa vyrovná samotnému Darth Vaderovi. [Záporná postava filmu Hviezdne vojny - pozn. prekl.] Ale aké zlo presne majú na mysli?

V tejto kapitole zistíme pravdu o nabíjačkách. Pozrieme sa tiež na ich príbuzných v dlhom zástupe iných spotrebičov: počítače, telefóny, televízory, digitálne veže, modemy. V tejto kapitole vypočítame energiu potrebnú na ich chod, ale nie energiu potrebnú na výrobu týchto hračiek – tomu sa budeme podrobnejšie venovať v kapitole Výrobky.

### Pravda o nabíjačkách

Keď necháte moderné nabíjačky v sieti bez nabíjania telefónu, spotrebúvajú asi 0,5 wattu. V našich jednotkách to znamená spotrebu výkonu **0,01 kWh** za deň. Pre toho, kto priemerne spotrebuje viac ako 100 kWh denne, by rada BBC *vždy vypnúť svoju nabíjačku* pomohla znížiť spotrebu o jednu stotinu percenta.

*„Každá maličkosť pomáha!“*

Ja si to nemyslím. Zúrivo vypínať nabíjačky je podobné, ako zachraňovať Titanic čajovou lyžičkou. Vypnite ich, ale uvedomte si, prosím, aké je to bezvýznamné gesto. Ešte inak:

Všetku energiu, ušetrenú vypnutím nabíjačky na jeden deň, spotrebuje vaše auto počas jazdy za *jednu sekundu*.



Obrázok 11.2 Týchto päť nabíjačiek – tri na mobilné telefóny, jedna na vreckový PC a jedna na laptop – zaznamenalo menej ako jeden watt na mojom merači spotreby.

Energia, ktorú ušetríte vypnutím nabíjačky za *jeden rok*, sa rovná energii jedného horúceho kúpeľa.

Treba pripustiť, že staršie nabíjačky spotrebujú viac ako 0,5 wattu – ak sú na dotyk teplé, pravdepodobne spotrebujú 1 alebo dokonca aj 3 wattu (obr. 11.3). Trojwattové nabíjačky spotrebujú 0,07 kWh za deň. Myslím, že takúto nabíjačku vypnúť je dobrý nápad – ušetrí vám to takmer 3 libry za rok. Ale neklamte samých seba, že ste tým urobili „kus práce na znížení spotreby elektriny, tobôž všetkej energie“. 3 W je iba malý podiel celkovej energetickej spotreby.

Dobré, dosť bolo záchranu Titanicu lyžičkou. Poďme zistiť, kde sa elektri-na spotrebúva naozaj.

### Skutočné spotrebiče

Tabuľka 11.4 ukazuje príkon jednotlivých domácich spotrebičov vo wattoch. V prvom stĺpci je spotreba výkonu v zapnutom stave – napríklad ak naše rádio vydáva zvuk. Druhý stĺpec ukazuje spotrebu, keď je spotrebič zapnutý, ale nerobí nič. Obzvlášť ma šokovalo, keď som zistil, že laserová tlačiareň, aj keď netlačí, spotrebúva až 17 W – to je rovnaké množstvo ako priemerná mraznička! Tretí stĺpec udáva spotrebu, keď je spotrebič v stave spánku alebo v pohotovostnom „stand-by“ režime. Štvrtý stĺpec ukazuje spotrebu, keď je zariadenie celkom vypnuté, ale stále v zástrčke. Všetku spotrebu udávam vo wattoch – pri prevode na nami používanú jednotku predstavuje 40 W asi 1 kWh/d. Mimochodom, veľmi jednoduchá pomôcka je, že jeden watt stojí približne jednu libru za rok (pri predpoklade ceny elektriny 10 pencí za kWh).

Najväčšími žrútkami energie sú počítače, ich monitory a televízory, ktorých spotreba v zapnutom stave sa šplhá až k stovkám wattov. Zábavná elektronika, ako DVD prehrávače alebo stereo počítače, dobieha a často potrebuje okolo 10 W. DVD prehrávač môže v obchode stáť iba okolo 20 libier, ak ho však necháte stále zapnutý, stojí vás to ďalších asi 10 libier ročne. Niektoré stereo prístroje a počítačové doplnky odoberajú niekoľko wattov aj keď sú vypnuté (vinou transformátorov). Aby ste sa ubezpečili, že spotrebič je naozaj vypnutý, treba šnúru vytiahnuť zo zástrčky.

### Pohon skrytých zariadení informačného veku

Podľa Jonathana Koomeya (2007) počítačové servery a ich dodatkové zariadenia (klimatizácie, záložné zdroje a podobne) spotrebovali v USA **0,4 kWh za deň na osobu** – o niečo viac ako 1 % celkovej spotreby elektriny v USA. To je údaj z roku 2005, čo je mimochodom dvojnásobne viac ako spotreba v roku 2000, pretože počet serverov narástol z 5,6 milióna na 10 miliónov.



Obrázok 11.3 Tento neefektívny bezdrôtový telefón a jeho nabíjačka odoberá 3 W, keď sa nechá v zástrčke. To je 0,07 kWh/d. Ak je cena elektriny 10 pencí za kWh, potom 3 W znamenajú 3 libry za rok.

Tabuľka 11.4 Príkion rozličných prístrojov vo wattoch. 40 W je 1 kWh/d.



Laptop: 16 W



Počítač: 80 W



LCD: 31 W  
CRT: 108 W



Tlačiareň: 17 W  
zapnutá, nečinná



Projektor: 150 W



Digitálne rádio: 8 W

Spotrebič	Príkion (W)			
	Zapnutý (aktívny)	Zapnutý (neaktívny)	Stand-by	Vypnutý
Počítač a periférne zariadenia:				
Počítač (skriňa)	80	55		2
Katódový monitor	110		3	0
LCD display	34		2	1
Projektor	150		5	
Laserová tlačiareň	500	17		
Bezdrôtový a káblový modem	9			
Laptop	16	9		0,5
Prenosný CD prehrávač	2			
Rádiobudík	1,1	1		
Rádiobudík II	1,9	1,4		
Digitálne rádio	9,1		3	
Kazetový prehrávač	3	1,2		1,2
Stereo zosilňovač	6			6
Stereo zosilňovač II	13			0
Domáce video – zvuk	7	7	4	
DVD prehrávač	7	6		
DVD prehrávač II	12	10	5	
TV	100		10	
Videorekordér	13		1	
Digitálna TV zostava	6		5	
Hodiny na mikr. rúre	2			
Xbox	160		2,4	
Sony Playstation 3	190		2	
Nintendo Wii	18		2	
Záznamník		2		
Záznamník II		3		
Bezdrôtový telefón		1,7		
Nabíjačka mobilu	5	0,5		
Vysávač	1 600			

## Ostatné zariadenia

Vysávač, ktorý používame niekoľko hodín týždenne, spotrebuje približne **0,2 kWh/d**. Kosačka trávy spotrebuje asi **0,6 kWh/d**. Mohli by sme pokračovať, ale domnievam sa, že počítače a zábavná elektronika sú najväčšími spotrebičmi energie vo väčšine domácností.

Záver tejto kapitoly znie: bude dôležité, koľko spotrebičov máte doma a v práci, ale zapnuté spotrebiče v bohatej domácnosti alebo kancelárii dokážu ľahko spotrebovať **5 kWh/d**.

## Mýty

**„Nemá význam vypínať svetlá, televízory alebo nabíjačky v zime. Vyplytvaná elektrina sa mení na teplo, takže nejde o plytvanie.“**

Tento mýtus je *pravdivý* v niektorých prípadoch počas zimy, ale vo väčšine prípadov je *nesprávny*.

Ak vykurojete váš dom elektrinou pomocou elektrických kozubov alebo teplovzdušných ventilátorov, je to podobné, ako vykurovať dom zariadeniami, ktoré spotrebúvajú elektrinu. Ak sa však nachádzate v tejto situácii, mali by ste zmeniť spôsob vykurovania vášho domu. Elektrina je vysokokvalitná forma toku energie a teplo je nízkokvalitná forma toku energie. *Premieňať elektrinu na teplo je plytvanie*. Aby som bol presný, plytvaním je vyrobiť z elektriny také isté množstvo tepla. Ohrievače na princípe čerpadiel využívajúcich energiu zeme alebo vzduchu vyrábajú 3- až 4-krát viac tepla, ako je ich spotrebovaná elektrina. Pracujú ako otočené chladničky, odčerpávajúce teplo z okolia vášho domu do jeho vnútra (pozri kapitolu 21).

Ostatní, ktorí svoje domy vykurojú pomocou fosílnych palív alebo biopalív, by nemali používať elektrické spotrebiče na vykurovanie domov aspoň do chvíle, kým na získavanie elektriny budú využívať fosílna palivá. Lepšie je toto palivo spáliť priamo doma. Pointa je v tom, že ak používate elektrinu z klasickej uhoľnej elektrárne, viac ako polovica tepla uhlia odíde do vzduchu v chladiacich vežiach. Z elektriny sa asi 8 % stratí pri prenose. Ak spálite fosílna palivo priamo doma, tak sa viac energie využije na vykurovanie vzduchu vo vašom dome.

## Poznámky a ďalšie čítanie

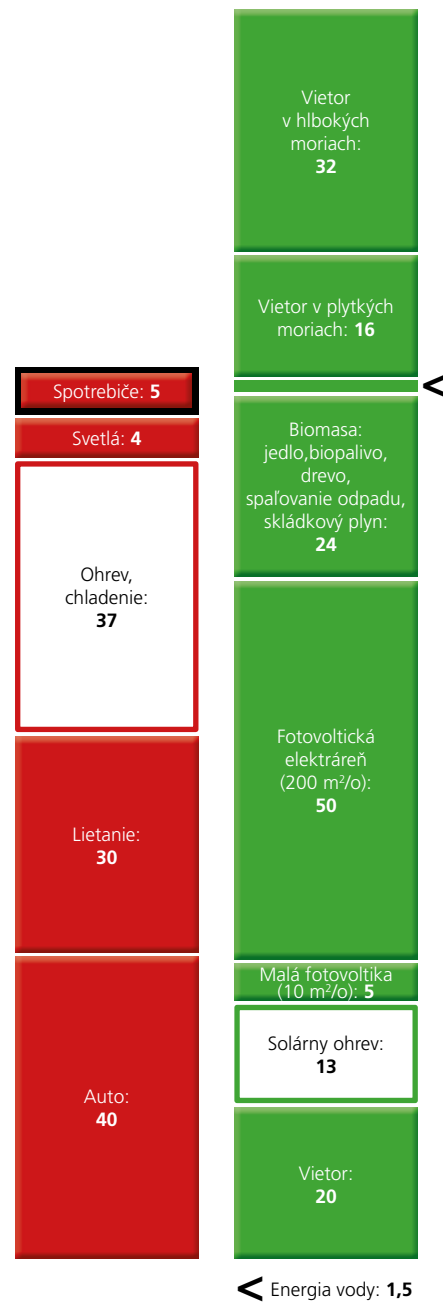
Strana číslo

**68** *V správach BBC nás varovali... vypnite nabíjačky zo siete.*

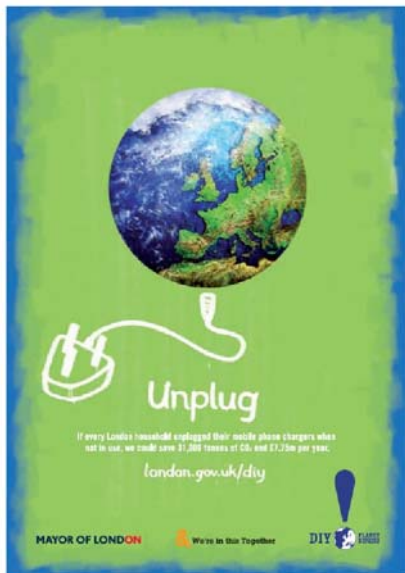
Článok zo správ BBC z roku 2005 hovoril: „Jadrové elektrárne budú o niekoľko rokov vypnuté. Ako zabezpečíme dostatok svetla pre Veľkú Britániu? Tu sú tri možnosti, ako môžete ušetriť energiu: vypnite videorekordér, keď ho nepoužívate; nenechávajte televízory v stave „stand-by“; a vypnite nabíjačku zo siete, keď ju nepoužívate.“

**68** *Keď necháte moderné nabíjačky v sieti bez nabíjania telefónu, spotrebúvajú asi 0,5 wattu.* Merač spotreby energie od Maplina na obrázku 11.2 nie je dostatočne

v kWh/d



Obrázok 11.5 Počítače a ostatné elektrické spotrebiče.



Obrázok 11.6 Reklama v rámci kampane „DIY opravuje planétu“. Text s nápisom „**Vypni**. Ak by každá domácnosť v Londýne vypla svoje nabíjačky telefónov, keď ich nepoužíva, mohli by sme ušetriť 31 000 ton CO<sub>2</sub> a 7,75 mil. libier za rok.“ London.gov.uk/diy/.



citlivý, aby zmeral takúto spotrebu. Veľmi ďakujem Svenovi Weierovi a Richardovi McMahonovi z Fakulty inžinierstva univerzity v Cambridgei, ktorí zmerali štandardnú nabíjačku Nokia pomocou presného kalorimetra. Zistili, že keď nie je pripojený mobil, odoberá 0,472 W. Uskutočnili však aj ďalšie zaujímavé meranie: ak je nabíjačka pripojená k plne nabitému telefónu, odoberá 0,845 W; a keď nabíjačka plní úlohu, ktorá jej náleží, čiže nabíja čiastočne vybitý mobil Nokia, odoberá 4,146 W vo forme tepla. Pedanti sa niekedy pýtajú: „A čo zdanlivý príkon nabíjačky?“ Ide o technický detail, ktorý nie je hodný nášho času. Napriek tomu som zmeral zdanlivý príkon nabíjačky (s podradným meračom) a zistil som, že sa približne rovná 2 VA. Ak vieme, že priemerná strata elektriny v sieti je 8 %, očakávam, že strata elektriny spojená so zdanlivým príkonom nabíjačky je najviac 0,16 W. Pri telefonovaní spotrebuje mobil 1 W.

Ďalšie čítanie: Kuehr (2003).



## 12 Vlny

Ak má byť výkon morských vln nádejou pre nejakú krajinu, musí predstavovať nádej aj pre Veľkú Britániu a Írsko, lebo z jednej strany ich obmýva Atlantický oceán, z druhej Severné more.

Najprv si ujasníme, ako vznikajú vlny: *vdaka Slnku vzniká vietor a vďaka vetru vznikajú vlny.*

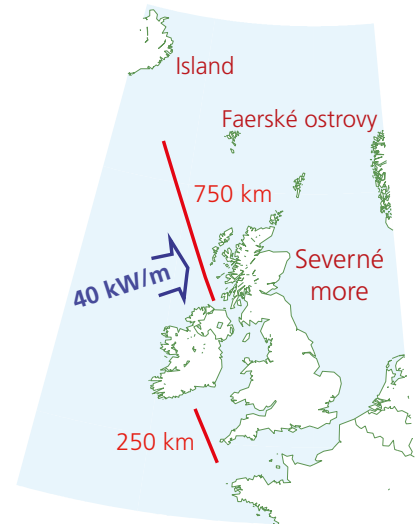
Väčšina slnečného žiarenia, ktoré sa dostane na povrch Zeme, zohreje oceány. Takto ohriate vody zohrievajú vzduch nad sebou a uvoľňujú vodné pary. Teplý vzduch stúpa nahor, vo vyšších vrstvách sa ochladí, nakoniec sa zráža a vytvorí mraky a dážď. Na okraji troposféry sa vzduch ešte viac ochladí mrazivým chladom z čierneho vesmíru. Ochladený vzduch zasa klesá nižšie. Táto solárna pumpa dáva do pohybu obrovské vzdušné masy, ktoré ustavične cirkulujú. Z nášho pohľadu na povrchu táto konvekcia spôsobuje vietor. Vietor je vlastne solárna energia druhého rádu. Nad oceánom vytvára vlny. Ide teda o solárnu energiu tretieho rádu (vlny, ktoré prichádzajú na pláž, nemajú nič spoločné s prílivom).

Na otvorenom mori vznikajú vlny vždy, keď je rýchlosť vetra vyššia ako 0,5 m/s. Hrebene vln sa pohybujú približne rovnakou rýchlosťou ako vietor nad nimi a v tom istom smere. *Vlnová dĺžka* (vzdialenosť medzi hrebeňmi) a *perióda* (časový odstup medzi hrebeňmi) vln závisí od rýchlosti vetra. Čím dlhšie vietor fúka a čím väčšia je vodná plocha, tým je väčšia výška vln. Pretože prevládajúce vetry nad Atlantikom vanú smerom od západu na východ, vlny odtiaľ prichádzajúce sú často veľmi veľké (vlny na východnom pobreží Britských ostrovov sú zvyčajne oveľa menšie, takže môj odhad potenciálnej energie z vln bude zameraný na Atlantický oceán).

Vlny majú dlhú pamäť a cestujú ešte dlho potom, keď prestane fúkať vietor, až kým nenarazia na nejakú prekážku. V moriach, kde fúka vietor z rôznych smerov, majú vlny tiež rôznych smerov a vzájomne sa prekrývajú.

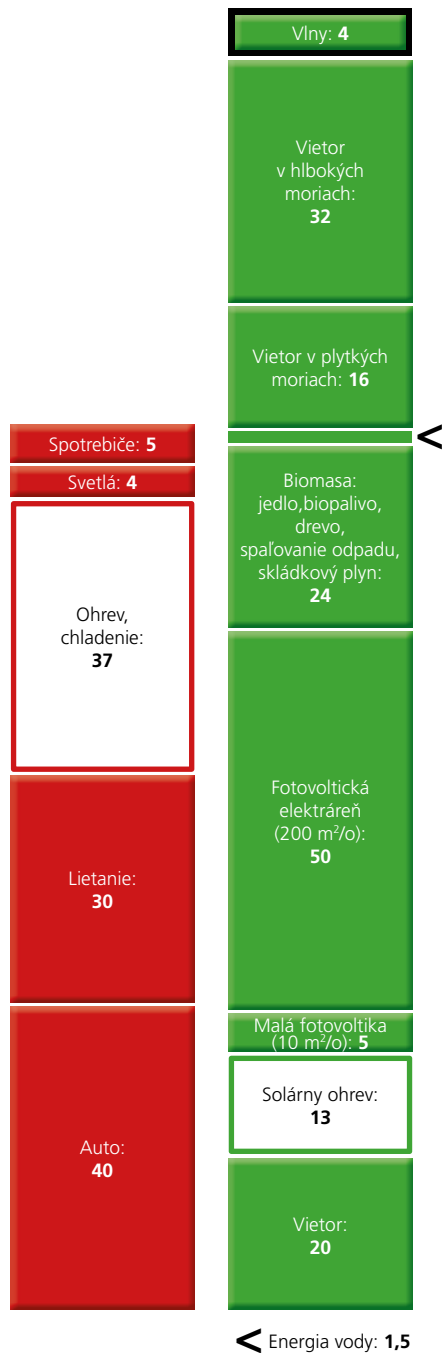
Ak putujúce vlny narazia na objekt, ktorý pohltí ich energiu – napríklad zhluk ostrovov s piesočnatými plážami – potom je hladina za touto prekážkou pokojnejšia. Tieto prekážky vytvárajú tieň, a tak pre vlny, ktoré sa dokážu cez ne dostať, zostáva menej energie. Takže zatiaľ čo slnečné svetlo dodáva energiu na *plochu*, vlny dodávajú energiu na *dĺžku* pobrežia. V tomto prípade sa vlk nenasýti tak, aby ovca zostala celá. Nie je možné naplno zachytiť energiu vlny dva kilometre od pobrežia a *zároveň* aj jeden kilometer od pobrežia. Lepšie povedané, môžete sa o to pokúsiť, ale vzdialenejšie zariadenie bude pohlcovať energiu, ktorá sa tak nedostane k bližšiemu a už sa nestihne doplniť. Vzdialenosť, ktorú potrebuje vietor na vytvorenie vlny, je totiž niekoľko tisíc kilometrov.

K výpočtu maximálneho výkonu, ktorý možno získať z vln, sa dopracujeme tak, že zistíme výkon prichádzajúci na jednotkovú dĺžku pobrežia a vynásobíme ho celkovou dĺžkou pobrežia. Nebudeme sa zaoberať myšlienkou, akým mechanizmom by sme mohli tento výkon zbierať, prejdeme rovno na celkové množstvo výkonu, ktorý možno získať.



Obrázok 12.1 Kolektor energie vln Pelamis je morský had vyrobený zo štyroch častí. Nosom je nasmerovaný na prichádzajúce vlny. Vlny hada naťahujú. Tomuto pohybu odporujú hydraulické generátory. Maximálna energia z jedného hada je 750 kW; v najlepšej lokalite v Atlantiku by jeden had mohol dodať v priemere 300 kW. Fotografia od výrobcu vlnovej energie Pelamis [www.pelamiswave.com](http://www.pelamiswave.com).

v kWh/d



Energetický výkon vln Atlantiku bol zmeraný: je to približne 40 kW na meter pobrežia. To sa zdá byť dosť! Ak by každý vlastnil jeden meter pobrežia a získal všetkých 40 kW, bolo by to dostatočné množstvo energie aj na súčasné pomery. *Naša populácia je však príliš veľká.* Žiaľ, nemáme k dispozícii dostatok atlantického pobrežia, aby na každého vyšiel jeden meter.

Ako ukazuje mapa na strane 73, na Veľkú Britániu pripadá 1 000 kilometrov (milión metrov) atlantického pobrežia, čo znamená 1/60 m na osobu. Takže celkové množstvo energie na jednu osobu je 16 kWh za deň. Ak by sme získali všetku túto energiu, hladina pobrežia Atlantiku by bola pokojná ako na rybníku. Praktické zariadenia však nebudú schopné získať všetku energiu a časť získaného mechanického výkonu sa nevyhnutne stratí pri premene mechanickej energie na elektrinu. Predpokladajme, že tie najlepšie zariadenia budú mať 50% účinnosť pri premene energie vln a že ich budeme schopní postaviť pozdĺž 500 km pobrežia Atlantiku. To by znamenalo, že z tohto teoretického limitu dokážeme získať 25%. To je 4 kWh za deň na osobu. Ako obvykle, zámerne vychádzam z dosť extrémnych predpokladov pre zvýšenie výroby v zelenom stĺpci – očakávam, že predpoklad využitia *polovice pobrežia Atlantiku* zariadeniami využívajúcimi energiu vln sa mnohým čitateľom bude zdať nereálny.

Ako sa zhodujú tieto odhadované čísla s možnosťami súčasnej technológie? V čase písania tejto knihy existovali iba tri zariadenia fungujúce v hlbokých vodách: tri kolektory Pelamis (obr. 12.1) postavené v Škótsku, ktoré ležia na pobreží pri Portugalsku. Výsledky o ich výkone neboli zverejnené, ale výrobcovia Pelamisu („skonštruovaného tak, že primárnym cieľom je jeho prežitie, účinnosť získavania výkonu je až na druhom mieste“) opisujú 2 kilometre dlhú vlnovú elektrárň, ktorá sa skladá zo 40 morských hadov a získava 6 kW na jeden meter. Ak by sme použili túto hodnotu v predchádzajúcich výpočtoch, množstvo získaného výkonu na 500 kilometrov by kleslo na 1,2 kWh za deň na osobu. Zatiaľ, čo výkon vln môže byť využiteľný v odľahlých komunitách, nedomnievam sa, že by mohol zohrávať významnú úlohu pri hľadaní obnoviteľných zdrojov pre Veľkú Britániu.

Koľko váži Pelamis a koľko ocele treba na jeho výrobu? Jeden had s maximálnym výkonom 750 kW váži 700 ton vrátane 350 ton balastu. Takže váha ocele je 350 ton. Pomer váhy k výkonu je teda približne 500 kilogramov na kW (maximálneho výkonu). Môžeme to porovnať so spotrebou ocele v prípade turbín na moriach: turbína s maximálnym výkonom 3 MW váži 500 ton vrátane jej základov. To predstavuje pomer váhy k výkonu 170 kilogramov na kW, o dve tretiny menej ako v prípade Pelamisu. Toto je však prvý prototyp; je možné, že s ďalšími investíciami a vývojom technológie sa tento pomer zníži.

Obrázok 12.1 Vlny.

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

**73** *na mori vznikajú vlny vždy, keď je rýchlosť vetra vyššia ako 0,5 m/s. Hrebene vln sa pohybujú približne rovnakou rýchlosťou ako vietor nad nimi.* Najjednoduchšia teória vzniku vln (Faber, 1995, str. 337) predpokladá, že (v prípade malých vln) sa vlny pohybujú v porovnaní s vetrom polovičnou rýchlosťou. Na základe pozorovaní však vieme, že čím dlhšie vietor fúka, tým je väčšia dĺžka aj rýchlosť najväčších vln. Typická rýchlosť plne vyvinutej vlny je takmer presne rovnaká ako rýchlosť vetra 20 metrov nad povrchom oceánu (Mollison, 1986).

- *Vlny na východnom pobreží Britských ostrovov sú zvyčajne oveľa menšie.* Zatiaľ, čo výkon vln pri meste Lewis (v Atlantiku) je 42 kW/m, výkony na východnom pobreží sú: Peterhead: 4 kW/m, Scarborough: 8 kW/m; Cromer: 5 kW/m. Zdroj: Sinden (2005). Podľa Sinden: „Oblasť Severného mora je na výkon vln veľmi chudobná.“

**74** *Výkon vln v Atlantiku je približne 40 kW na meter pobrežia.*

(V kapitole F nájdete výpočet tohto výkonu pri použití niekoľkých známych faktov o vlnách.) Toto číslo má pevný základ v literatúre o výkone vln Atlantiku (Mollison a kol., 1976; Mollison 1986, 1991). Napríklad podľa Mollisona (1986): „Rozsiahla oblasť severovýchodného Atlantiku, od Islandu až po severné Portugalsko, má celkové množstvo výkonu 40 - 50 MW/km, z čoho 20 - 30 MW/km je potenciálne možné ekonomicky využiť.“ V ktoromkoľvek bode otvoreného oceánu možno rozlíšiť tri druhy výkonu vyjadreného na plochu: celkový výkon, ktorý prejde cez daný bod vo všetkých smeroch (v priemere 63 kW/m na súostroví Scilly a 67 kW/m pri meste Uist); celkový výkon získaný zberom výkonu vln v optimálnom smere (47 kW/m a 45 kW/m); výkon na jednotku pobrežia, ktorý berie do úvahy nesúlad medzi optimálnou orientáciou zberného zariadenia a pobrežia (napríklad v prípade Portugalska je optimálna severná orientácia, skutočná orientácia pobrežia je však západná).

- *Praktické zariadenia však nebudú schopné získať všetku energiu vln a časť získaného mechanického výkonu sa ďalej stratí pri premene mechanickej energie na elektrinu.* Prvé takéto zariadenie, Limpet on Islay vo Veľkej Británii, napojené na elektrickú sieť, slúži ako veľmi dobrý príklad. Pri jeho návrhu sa predpokladalo, že účinnosť premeny energie bude 48% s priemerným energetickým výkonom 200 kW. Straty v záchytnom systéme, zotrvačnikoch a elektronických častiach však znamenali skutočný výkon iba 21 kW – teda iba 10% z predpokladaného výkonu (Wavegen, 2002).



Fotografia: Terry Cavner.





Obrázok 13.1 Šalát Niçoise.

Minimum: **3 kWh/d**

Obrázok 13.2 Minimálne množstvo energie požadované na jednu osobu.

## 13 Jedlo a poľnohospodárstvo

*Moderné poľnohospodárstvo je využívanie pôdy pri premene ropy na jedlo.*

Albert Bartlett

Už sme rozoberali v kapitole 6, koľko trvalo udržateľného výkonu by sme mohli *vyrobiť* z biomasy; v tejto kapitole sa zameriame na to, aký príkon nám biomasa *poskytuje* v podobe každodennej potravy.

Priemerne aktívna osoba vážiaca 65 kg skonzumuje denne jedlo s obsahom chemickej energie približne 2 600 tzv. kalórií. V skutočnosti to znamená 1 000 chemických kalórií (1 kcal), t.j. približne 3 kWh za deň. Väčšina tejto energie unikne z tela vo forme tepla, takže každý z nás vlastne funguje ako ohrievač s výkonom o niečo väčším ako 100 W, čo je žiarovka so stredným výkonom. Umiestnite 10 ľudí do malej studenej miestnosti a môžete vypnúť 1 kW ohrievač vzduchu.

Koľko energie vlastne potrebujeme, aby sme získali svojich 3 kWh za deň? Ak rozšírime svoje obzory a zahrnieme nevyhnutné náklady na výrobu jedla, potom možno zistíme, že energetická stopa je oveľa vyššia. Záleží na tom, či sme vegáni, vegetariáni alebo milovníci mäsa.

Vegán má najnižšiu možnú stopu: **3 kWh energie denne** z rastlín, ktoré konzumuje.

### *Energetické náklady mlieka*

Milujem mlieko. Ak vypijem pintu [pol litra – pozn. prekl.] mlieka denne, koľko energie to vyžaduje? Dobrá dojnica vyprodukuje za deň 16 litrov mlieka. Takže môj polliter mlieka denne vyžaduje 1/32 kravy. Ale počkať – syr mám rád tiež. Konzumácia 50 g syra denne znamená vyrobiť ďalších 450 g mlieka. Dobre: moje mlieko a syr vyžadujú 1/16 kravy. Koľko výkonu potrebujem na chov kravy? Ak krava s hmotnosťou 450 kg vyžaduje podobné množstvo energie na kilogram hmotnosti ako človek (ktorého 65 kg spotrebuje 3 kWh), potom krava musí spotrebovať 21 kWh/d. Nepáči sa vám takýto prepočet z človeka na kravu? Skontrolujme teda čísla: podľa [www.dairyaustralia.com.au](http://www.dairyaustralia.com.au) chov kravy s hmotnosťou 450 kg spotrebuje 85 MJ/d, čo predstavuje 24 kWh/d. Výborne, náš odhad nebol príliš vzdialený od skutočnosti! Takže môj podiel 1/16 kravy znamená energiu približne **1,5 kWh za deň**. Tento výpočet zanedbáva energiu spojenú so starostlivosťou o kravu, s výrobou či dopravou mlieka a syra. Niektoré z týchto nákladov budeme rozoberať pri doprave a supermarketoch v 15. kapitole.

Mlieko a syr: **1,5 kWh/d**

Obrázok 13.3 Mlieko a syr.

### Vajíčka

Nosnica (sliepka znášajúca vajíčka) skonzumuje približne 110 g krmiva pre sliepky denne. Ak predpokladáme, že energetický využiteľný obsah krmiva je 3,3 kWh na kilogram, sliepka spotrebuje 0,4 kWh denne. Nosnica ročne znesie asi 290 vajíčok. Konzumácia dvoch vajíčok denne teda znamená spotrebu výkonu **1 kWh za deň**. Každé jednotlivé vajíčko obsahuje 80 kcal, čo je približne 0,1 kWh. Takže z energetického hľadiska sa vajíčka vyrábajú s účinnosťou 20%.

Vajíčka: **1 kWh/d**

Obrázok 13.4 Dve vajíčka denne.

### Energetické náklady mäsa

Povedzme, že milovník mäsitej stravy skonzumuje denne 227 g (pol libry) mäsa (čo je priemerná konzumácia mäsa v Amerike). Na výpočet energetickej náročnosti chovu zvierat potrebujeme vedieť, ako dlho zvieratá žijú a spotrebúvajú energiu. Kuracie, bravčové alebo hovädzie?

Dáte si kuracie, pane? Každé kurča, ktoré zjete, žilo asi 50 dní. Takže pravidelná konzumácia 227 g kuracieho mäsa denne vyžaduje približne 11,3 kg (25 libier) živých kurčiat, pripravovaných na konzumáciu. A týchto 11,3 kg kurčiat potrebuje energiu.

Bravčové pre dámu? Prasiatá žijú dlhšie – možno 400 dní od narodenia až po tanier – takže pravidelná konzumácia asi 227 g bravčového denne vyžaduje asi 90 kg (225 libier) živých prasiat pripravovaných na konzumáciu.

Hovädzie? Produkcia hovädzieho mäsa je časovo najnáročnejšia. Trvá asi 1 000 dní, kým je z kravy plátok mäsa. Pravidelná konzumácia 227 g denne vyžaduje asi 230 kg kravy v živej váhe, pripravovanej na konzumáciu.

Aby sme všetky tieto údaje zhrnuli do jedného čísla, predpokladajme, že zjete 227 g (pol libry) mäsa denne, s rovnakým zastúpením kuracieho, bravčového a hovädzieho. Takýto stravovací návyk znamená neprestajné udržiavanie 3,6 kg živých kurčiat, 33 kg živých prasiat a 73 kg živých kráv. To je celkovo 110 kg mäsa alebo 170 kg živej váhy zvierat (pretože asi 2/3 zvieratá sa využije ako mäso). Ak týchto 170 kg zvieratá má podobné energetické nároky ako človek (ktorého 65 kg spáli 3 kWh/d), potom je množstvo výkonu potrebné na zabezpečenie tohto množstva

$$170 \text{ kg} \times \frac{3 \text{ kWh/d}}{65 \text{ kg}} \approx 8 \text{ kWh/d.}$$

Znovu som predpokladal, že fyziológia zvierat je podobná ako u človeka; presnejší výpočet výkonu potrebného na výrobu kuracieho mäsa je uvedený v poznámkach na konci kapitoly. Bez ohľadu na to mi išlo len o približný výpočet, a ten je nasledujúci. Výkon potrebný na výrobu jedla pre typického konzumenta zeleniny, mliečnych výrobkov, vajec a mäsa je 1,5 + 1,5 + 1 + 8 = **12 kWh za deň** (denná kalorická hodnota takejto stravy je 1,5 kWh z potravín rastlinného pôvodu, 0,7 kWh z mlieka; 0,2 kWh z vajec a 0,5 kWh z mäsa – spolu 2,9 kWh za deň).

Mäsožravec: **8 kWh/d**

Obrázok 13.5 Konzumácia mäsa vyžaduje extra energiu, pretože musíme nakrmiť množstvo zvierat narodených pre naše žalúdky.



Obrázok 13.6 Ako krmivo spásie energetické plodiny.

Toto číslo nezahŕňa energetické náklady spojené s pestovaním, hnojením, spracovaním, mrazením a transportom jedla. Niektoré z týchto nákladov vypočítame nižšie, niektoré v kapitole 15.

Možno na základe týchto výpočtov obhájiť vegetariánstvo ako energeticky výhodnú stravu? To závisí od toho, kde zvieratá chováme. Vezmime si napríklad strmé kopce a hory Walesu. Mohli by sme krajinu využívať inak, ako na pasenie dobytku? Buď tieto skalnaté pasienky použijeme na chov oviec, alebo zostanú nevyužité pre potreby ľudí. Môžete o týchto prírodných zelených svahoch uvažovať ako o biopalivových plantážach bez potreby údržby a o ovciach ako o automatických samoreplikujúcich sa strojoch na zber biopalív. Energetické straty procesu sú významné, pravdepodobne však neexistuje lepší spôsob, ako získať solárnu energiu z takýchto oblastí. (Nie som si istý, či je tento argument v prospech chovu oviec vo Walese naozaj vhodný: pri zlom počasí sa ovce presunú do nižších oblastí, kde im ako potrava slúži sója a iná potrava dopestovaná za príspevku energeticky náročných hnojív; aké sú teda skutočné energetické náklady? Nevieť.) Podobné argumenty možno použiť v prospech konzumácie mäsa v oblastiach, ako je buš v Afrike alebo trávnaté oblasti v Austrálii; v prospech pitia mlieka v Indii, kde sa milióny kráv krmia odpadom z pestovania ryže a kukurice.

Na druhej strane tam, kde sú zvieratá zavreté v kliečkach a krmia sa obilím vhodným pre ľudí, je nepochybne energeticky vhodnejšie nechovať zvieratá pre mäso, ale konzumovať obilie priamo.

### Hnojivá a iné energetické náklady v poľnohospodárstve

Zabudovaná energia [čiže tá, ktorá sa musela premeniť pri ich výrobe – pozn. prekl.] obsiahnutá v európskych hnojivách je približne **2 kWh za deň na osobu**. Podľa správy DEFRA z Warwick university spotrebovalo v roku 2005 poľnohospodárstvo vo Veľkej Británii **0,9 kWh za deň na osobu** na vozový park, prístroje, vyhrievanie (najmä skleníkov), osvetlenie, vetranie a mrazenie.

### Energetické náklady pre Murka, Dunča a Pejka

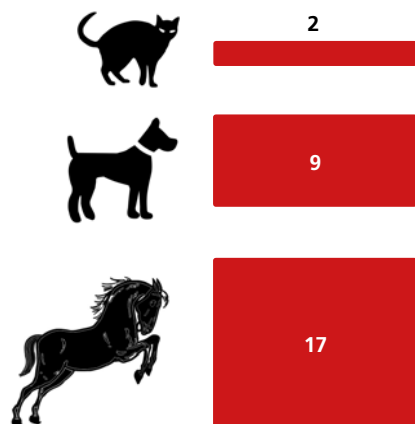
Naši zvierací spoločníci! Staráte sa o mačku, psa alebo koňa?

Vo Veľkej Británii je okolo 8 miliónov mačiek. Predpokladajme, že sa staráte o jednu z nich. Aké sú energetické náklady Murka? Ak skonzumuje 50 g mäsa denne (kuracie, hovädzie alebo bravčové), potom je podľa našich výpočtov na zabezpečenie tejto potravy potrebný výkon **2 kWh za deň**. Vegetariánska mačka by vyžadovala menej.

Podobne, ak váš Dunčo skonzumuje 200 g mäsa denne a sacharidy zodpovedajú energii 1 kWh za deň, potom je celkový výkon potrebný na zabezpečenie tejto potravy približne **9 kWh za deň**.

Váš Pejko váži približne 400 kg a spotrebuje **17 kWh za deň**.

v kWh/d



Obrázok 13.7 Výkon potrebný pre potravu našich zvieracích spoločníkov.

## Mýty

**Počul som, že energetická stopa jedla je taká veľká, že je lepšie jazdiť autom, ako chodiť.**

Či je to pravda, závisí od vašej stravy. Určite je možné nájsť jedlo, ktorého fosílna energetická stopa je väčšia ako energia dodaná človeku. Napríklad jedno balenie zemiakových lupienkov má zabudovanú energiu 1,4 kWh fosílny energie na kWh skonzumovanej chemickej energie. Zabudovaná energia v mäse je ešte vyššia. Podľa štúdie z Exeterskej univerzity má 1 kWh typickej stravy až 6 kWh zabudovanej energie. Aby sme zistili, či spotrebujeme viac energie na chôdzu alebo jazdu autom, potrebujeme poznať ich účinnosť. Typické auto v kapitole 3 spotrebuje 80 kWh na 100 km. Pri chôdzi spotrebujeme na rovnakú vzdialenosť 3,6 kWh, teda 22-krát menej. Ak sa stravujete jedlom, pri ktorom pripadá na 1 kWh viac ako 22 kWh zabudovanej energie, potom áno, energetické náklady na prepravu z miesta A na miesto B autom na fosílny palivá sú nižšie ako chôdza po vlastných. Ak však konzumujete typickú stravu (6 kWh na kWh), potom je výrok „lepšie jazdiť autom, ako chodiť“ mýtus. Chôdza spotrebuje asi štvornásobne menej energie ako auto.

**Poznámky a ďalšie čítanie**

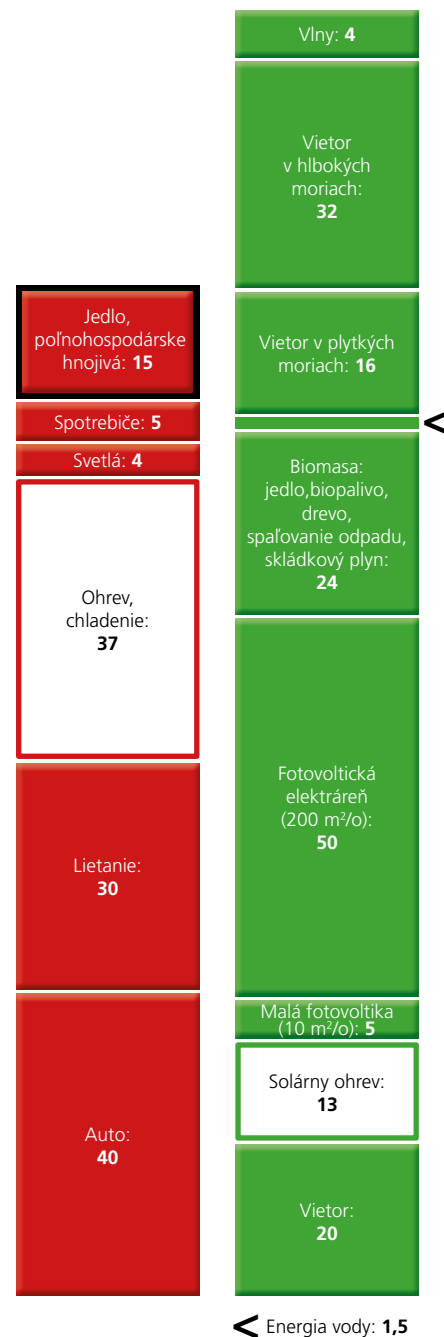
Strana číslo

**76 Typická dojná krava vyprodukuje za deň 16 litrov mlieka.** Vo Veľkej Británii je 2,3 milióna dojníc. Každá z nich vyprodukuje 5 900 litrov mlieka za rok. V obchodoch sa predáva polovica všetkého vyprodukovaného mlieka. [www.ukagriculture.com](http://www.ukagriculture.com), [www.vegsoc.org/info/cattle.html](http://www.vegsoc.org/info/cattle.html)

**77 Trvá asi 1 000 dní, kým je z kravy plátok mäsa.** 33 mesiacov od narodenia až po bitúnok: 9 mesiacov tehotenstva a 24 mesiacov kŕmenia. [www.shabdenparkfarm.com/farming/cattle.htm](http://www.shabdenparkfarm.com/farming/cattle.htm).

- **Sliepky.** Dospelá sliepka (vo veku 20 týždňov) má hmotnosť 1,5 až 1,6 kg. Jej krmivo obsahuje 2 859 kcal na kg, čo je 3,3 kWh na kg a spotreba jej krmiva sa zvyšuje z 340 g týždenne vo veku 6 týždňov na 500 g vo veku 20 týždňov. Keď začne znášať vajčka, spotreba krmiva sa zvýši na 110 g denne. Energetický obsah krmiva pre kurčatá na mäso je 3,7 kWh na kilogram. Sliepka s typickou hmotnosťou 2 kg spotrebuje 400 - 450 kcal energie denne (t. j. 0,5 kWh/d). Sliepka s hmotnosťou 2,95 kg skonzumuje celkovo 5,32 kg krmiva [5h69fm]. Takže celkové množstvo zabudovanej energie pripadajúcej na kuracie mäso je približne 6,7 kWh na kg zvierata alebo 10 kWh na kg zjedného mäsa. Ak by som použil toto číslo namiesto môjho hrubého odhadu, energetická spotreba pripadajúca na kuracie mäso by bola o niečo vyššia. Ak však všetkému skonzumovanému mäsu dominuje hovädzie, nie je taký problém, že som o málo podhodnotil energetickú spotrebu sliepok. Zdroje: Subcommittee on Poultry Nutrition, National Research Council (1994), [www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309048923](http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309048923), MacDonald (2008) a [www.statistics.gov.uk/statbase/datasets2.asp](http://www.statistics.gov.uk/statbase/datasets2.asp).

v kWh/d



Obrázok 13.8  
Jedlo a poľnohospodárstvo.

- 77 *Predpokladajme, že zjete 227 g (pol libry) mäsa denne, s rovnakým zastúpením kuracieho, bravčového a hovädzieho.* To je blízko priemernej konzumácii mäsa v Amerike, ktorá je 251 g za deň – z toho 108 g kuracie, 81 g hovädzie a 62 g bravčové mäso (MacDonald, 2008).
- 78 *Energia zabudovaná v európskych hnojivách je približne 2 kWh za deň na osobu.* V rokoch 1998 - 99 bola spotreba hnojív v západnej Európe 1,6 Mt ročne: 10 Mt nitrátov, 3,5 Mt fosfátov a 4,1 uhličitanu draselného. Tieto hnojivá majú zodpovedajúcu stopu 21,7; 4,9; 3,8 kWh na kg. Rozdelenie tejto energie medzi 375 miliónov ľudí, to znamená 1,8 kWh na osobu za deň. Zdroje: Gellings a Parmenter (2004), Medzinárodná asociácia výrobcov hnojív (International Fertilizer Industry Association) [IFA – pozn. prekl.] [5pwojp].
- *Poľnohospodárstvo vo Veľkej Británii v roku 2005 spotrebovalo 0,9 kWh za deň na osobu.* Zdroj: Warwick HRI [Horticulture Research International – Záhradnícky medzinárodný výskum – pozn. prekl.] (2007).
- 79 *Balenie zemiakových lupienkov obsahuje zabudovanú energiu 1,4 kWh fosilnej energie na kWh skonzumovanej chemickej energie.* Túto energiu som vypočítal na základe uhlíkovej stopy jedného balenia: 75 g CO<sub>2</sub> pre štandardné 35 g balenie [5bj8k3]. Z tejto stopy pripadá 44% na pestovanie, 30% na spracovanie, 15% na balenie, 11% na dopravu a spracovanie odpadu. Chemická energia dodaná zákazníkovi je 770 kJ. Takže toto jedlo má uhlíkovú stopu 350 g na kWh. Ak predpokladáme, že väčšina uhlíkovej stopy pochádza z fosílnych palív, t. j. 250 g na kWh, energetická stopa lupienkov je 1,4 kWh fosilného paliva na kWh skonzumovanej chemickej energie.
- *Na kWh typickej stravy pripadá až 6 kWh zabudovanej energie.* Coley (2001) odhaduje zabudovanú energiu typickej stravy na 5,75-násobok dodanej energie. Chôdza má priemernú uhlíkovú stopu 42 g/km; bicyklovanie 30 g/km Na porovnanie, pri jazde priemerným autom dochádza k emisii 183 g CO<sub>2</sub>/km.
  - *Pri chôdzi spotrebujeme na rovnakú vzdialenosť 3,6 kWh.* Chodec spotrebuje celkovo 6,6 kWh na 100 km [3s576h]; odpočítaním hodnoty spotreby energie v pokoji od spotreby energie pri chôdzi získame energetickú stopu chôdze (Coley, 2001).

Ďalšie čítanie: Weber a Matthews (2008).

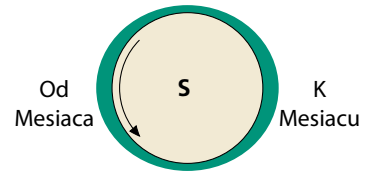


## 14 Prílív a odliv

Mesiac a Zem tancujú okolo Slnka piruetu. Spoločne obehnú Slnko raz za rok a zároveň sa každých 28 dní otočia aj okolo seba navzájom. Mesiac sa tiež otočí raz za 28 dní, takže svojmu tanečnému partnerovi ukazuje stále tú istú tvár. Primadona Zem však Mesiacu jeho kompliment neopláca; otočí sa raz za deň. Tento tanec funguje vďaka gravitačným silám: každý kúsok Zeme, Mesiaca a Slnka sa navzájom priťahuje ku každému kúsku Zeme, Mesiaca a Slnka. Súčet týchto síl *takmer* postačuje na pokračovanie nebeského tanca. Medzi gravitačnými silami a silami potrebnými na zachovanie tanca však dochádza k veľmi malým nerovnováham. A tieto nerovnováhy spôsobujú vznik prílivov a odlivov [t. j. slapových javov – pozn. prekl.].

Nerovnováhy súvisiace s krúžením Mesiaca a Zeme sú asi trojnásobne silnejšie ako nerovnováhy súvisiace s pomalším pohybom Zeme okolo Slnka, takže veľkosť slapových javov sa mení s fázou Mesiaca podľa toho ako Mesiac a Slnko vchádzajú, respektíve vychádzajú zo spoločného pôsobenia. Pri splne a nove Mesiaca (keď je Mesiac a Slnko v jednej línii) sa nerovnováhy zväčšujú a následné väčšie slapy sa nazývajú *skokové slapy*. (Skokové slapy [z angl. spring tides – pozn. prekl.] sa vyskytujú pravidelne každé dva týždne, presnejšie 2-krát za mesiac.) Keď na oblohe vidíme polmesiac, nerovnováhy sa čiastočne rušia a slapy sú menšie; nazývame ich *hluché slapy*. Skokové slapy sú asi dvojnásobne silnejšie ako hluché slapy: skokové prílivy dosahujú dvojnásobnú výšku morskej hladiny oproti hluchým prílivom, skokové odlivy sú dvojnásobne nižšie oproti hluchým odlivom a pobrežné prúdy sú dvojnásobne väčšie pri skokových ako pri hluchých slapoch.

Prečo sú dva prílivy a dva odlivy každý deň? Ak by Zem bola dokonalá, hladká biliardová guľa pokrytá oceánmi, slapové efekty by deformovali vodu mierne smerom k Mesiacu a od neho, čím by dodali vode tvar rugbyovej lopty (obr. 14.1). Obyvatelia žijúci na rovníku takejto Zeme podobnej biliardovej guli, krútiacej sa raz denne vo vodnom obale, ktorý by mal tvar rugbyovej lopty, by si všimli, že hladina vody stúpa a klesá dvakrát denne: raz, keď sa ocitnú na jednom špici rugbyovej lopty, druhý raz, keď prejdú jej druhým špicom. Takéto názorné vysvetlenie nezodpovedá presne skutočnosti. Zem totiž nie je hladká a nie je rovnomerne pokrytá vodou (ako ste si možno všimli). Dva hrebene vody nemôžu obiehať okolo celej Zeme raz za deň, pretože im stoja v ceste kontinenty. Skutočný priebeh slapov je teda zložitejší. V prípade veľkého objemu vody, akým je napríklad Atlantický oceán, vznikajú slapové hrebene a údolia, ale keďže nie sú schopné uháňať okolo Zeme, urobia niečo iné: uháňajú okolo okraja oceánu. V severnom Atlantiku sú dva hrebene a dve údolia, všetky obiehajúce Atlantik proti smeru hodinových ručičiek raz za deň. Vo Veľkej Británii tieto hrebene a údolia nevidíme priamo, pretože nás od skutočného Atlantiku delí niekoľko stoviek kilometrov širokého „podmorského brehu“, nazývaného kontinentálny šelf. Vždy, keď jeden z hrebeňov obieha Atlantik a narazí na kontinentálny šelf, presmeruje sa pozdĺž neho, takže sa hrebeň pohybuje k pobrežiu brehu. Podobne je to aj s údlím.

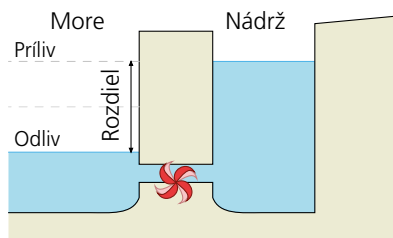


Obrázok 14.1 Oceán pokrývajúci „biliardovú“ Zem. Pozeráme sa na severný pól, Mesiac je vzdialený 60 cm napravo. Zem sa otočí raz za deň vnútri obalu z vody v tvare rugbyovej lopty. Oceány sa rozprestierajú smerom od Mesiaca a k nemu, pretože jeho gravitačné sily nezodpovedajú presne dostredivým silám potrebným na udržanie krúženia Zeme a Mesiaca okolo ich spoločného streda hmotnosti. Osoba stojaca na rovníku (rotujúcom v smere šípky) bude svedkom dvoch prílivov a dvoch odlivov za deň.

[Pri používanom termíne prílivová energia si je potrebné uvedomiť, že výkon získavame tak pri prílive, ako aj pri odlive – pozn. prekl.]



Obrázok 14.2 Prílivová nádrž a mlyn. Fotky zverejnené s povolením Teda Evansa.



Obrázok 14.3 Prílivová akumulčná elektráreň s umelou nádržou. Počas prílivu sa naplnila a teraz je odliv. Voda pretečie cez generátor elektriny, ktorý mení potenciálnu energiu vody na elektrinu.

Výška prílivu	Merný výkon
2 m	1 W/m <sup>2</sup>
<b>4 m</b>	<b>3 W/m<sup>2</sup></b>
6 m	7 W/m <sup>2</sup>
8 m	13 W/m <sup>2</sup>

Tabuľka 14.4 Merný výkon (výkon na jednotku plochy) prílivových akumulčných elektrární pri predpoklade využitia prílivu aj odlivu.

Časový odstup medzi údoliami a hrebeňmi je 6 hodín. Presnejšie je to 6 a štvrt hodiny, pretože čas medzi východmi Mesiaca je 25, nie 24 hodín.

Rýchlosť obehu hrebeňov a údolí sa líši v závislosti od hĺbky šelfu. Čím plytší je šelf, tým je pohyb hrebeňov a údolí pomalší, a tým sú zároveň výraznejšie. V otvorených oceánoch sú prílivy a odlivy vysoké iba 1 až 2 stopy [30 až 60 centimetrov – pozn. prekl.]. Keď však dorazia k európskym zátokám, ich rozsah je až štyri metre. Coriolisova sila (sila spojená s rotáciou Zeme, ktorá pôsobí iba na objekty v pohybe) na severnej pologuli spôsobuje, že prílivy a odlivy majú tendenciu vinúť sa pozdĺž pobreží smerom doprava. Napríklad slapy na pobreží kanálu La Manche sú výraznejšie na francúzskom pobreží. Podobne, hrebene a údolia vstupujúce do Severného mora okolo Orknejov obmývajú britskú stranu, smerujúc dole k ústiю Temže a pri Holandsku sa obrátia doľava, aby svojou návštevou poctili Dánsko.

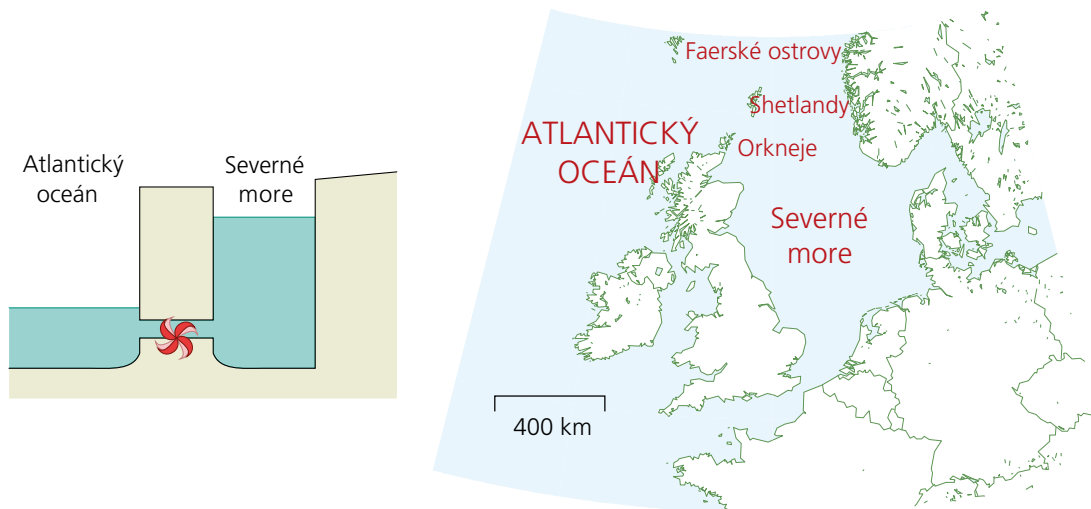
Energia prílivov a odlivov sa niekedy nazýva mesačná energia, pretože je to hlavne Mesiac, ktorý spôsobuje takýto pohyb vody. Energia prílivov a odlivov v skutočnosti pochádza z rotačnej energie otáčajúcej sa Zeme. Rotácia našej Zeme sa tak postupom času spomaľuje.

Takže ako môžeme využiť energiu prílivu a odlivu a aký výkon z nej získame?

### Hrubé odhady energie prílivu a odlivu

Keď rozmýšľate o príkone prílivu, mohli by ste si predstaviť umelý bazén pri oceáne s vodným kolesom, ktoré sa pri naplňaní a vyprázdňovaní bazénu otáča (obr. 14.2 a 14.3). Kapitola G ukazuje, ako sa dá vypočítať možný výkon z takýchto zariadení. Ak predpokladáme rozdiel hladín 4 metre, čo je typický rozsah pri mnohých ústiach európskych riek, tak maximálny výkon umelej nádrže, ktorá sa rýchlo naplní pri prílive a rýchlo vyprázdni pri odlive, pracujúc pri oboch procesoch, je **3 W/m<sup>2</sup>**. Je to na jednotku plochy toľko, čo v prípade veterných turbín na mori. A my už vieme, aké veľké musia byť veterné parky, aby predstavovali významný príspevok vo výrobe elektriny. *Musia byť veľmi rozsiahle*. Podobne, aby boli naše nádrže schopné získavať elektrinu porovnateľnú s celkovou spotrebou Veľkej Británie, potrebovali by sme, aby ich celková rozloha zodpovedala rozlohe Veľkej Británie.

Úžasné je, že Veľká Británie už je vybavená prirodzenou nádržou s požadovanými rozmermi. Táto nádrž sa nazýva Severné more (obr. 14.5). Skratka, ak postavíme generátory na vhodné miesta, môžeme získavať významné množstvo elektriny. Generátory môžu vyzeráť ako podmorské veterné mlyny. Pretože merná hmotnosť vody je asi tisícnásobne vyššia ako vzduchu, výkon toku vody je tisíckrát väčší ako výkon vetra pri tej istej rýchlosti. O chvíľku sa vrátíme k prílivovým prietokovým elektrárnam, ale ešte predtým sa pozrime na to, koľko energie prílivu a odlivu obmýva Veľkú Britániu každý deň.



Obrázok 14.5 Britské ostrovy majú výhodnú polohu: Severné more vytvára prírodnú prílivovú nádrž, z ktorej a do ktorej sa vo veľkých množstvách prelieva voda dvakrát denne.

### Hrubý príkon prílivu a odlivu

Slapové javy okolo Veľkej Británie vytvárajú skutočné prílivové vlny – na rozdiel od cunami, ktoré sa tiež nazývajú „prílivové vlny“, nemajú však s prílivom nič spoločné. Sledujme príliv, ako k nám prichádza od Atlantiku. Príliv prichádza postupne kanálom La Manche smerom od súostrovia Scilly k Portsmouthu a Doveru. Hrebeň prílivovej vlny postupuje kanálom rýchlosťou asi 70 km/h. (Hrebeň vlny sa pohybuje oveľa rýchlejšie ako samotná voda, tak ako sa obyčajné vlny pohybujú rýchlejšie ako voda.) Podobne príliv sa pohybuje v smere hodinových ručičiek okolo Škótska, smerom dole Severným morom od mesta Wick do Berwicku a do mesta Hull rýchlosťou približne 100 km/h. Tieto dva prílivy sa spájajú v ústí Temže. Zhodou okolností škótsky hrebeň prichádza približne o 12 hodín neskôr ako hrebeň prichádzajúci cez Dover, takže prichádzajú takmer synchronne s ďalším prílivom cez Dover, a tak do Londýna prichádzajú dva prílivy denne.

Výkon, ktorý môžeme získať z prílivov, nemôže byť nikdy väčší ako celkový príkon prílivových vln z Atlantiku. Celkový príkon prechádzajúci cez dve línie zobrazené na obrázku 14.6 bol určený v priemere na 100 kWh za deň na osobu. Ak si predstavíme získanie 10 % tejto prichádzajúcej energie a ak má proces premeny účinnosť 50 %, priemerný dodaný výkon by bol 5 kWh/d na osobu.

Ide iba o predbežný odhad bez definovania technických detailov. Teraz sa pokúsme vypočítať množstvo energie, ktoré by sme mohli získať tromi základnými spôsobmi: prílivovými prietokovými elektrárnami, priehradami a pobrežnými prílivovými lagunami.



Obrázok 14.6 Priemerné množstvo prichádzajúcej energie mesačných prílivových vln, ktoré križujú znázornené dve čiary, bolo zmerané na 250 GW. Toto hrubé množstvo, po rozdelení medzi 60 miliónov ľudí, je 100 kWh za deň na osobu.

[V prípade prílivových prietokových elektrární ide vlastne o podmorskú turbínu, ktorú poháňa prúd prílivu, resp. odlivu. Zariadenia by sa dali nazvať aj ako elektrárne slapových prúdov – pozn. prekl.]

Rýchlosť (m/s)	(uzly)	Merný výkon (W/m <sup>2</sup> )
0,5	1	1
1	2	8
2	4	60
3	6	200
4	8	500
5	10	1 000

Tabuľka 14.7 Merné výkony (vo wattoch na meter štvorcový morského dna) prílivových prietokových elektrární ako funkcia rýchlosti toku. (1 uzol = námorná míľa za hodinu = 0,514 m/s.)

## Prílivové prietokové elektrárne

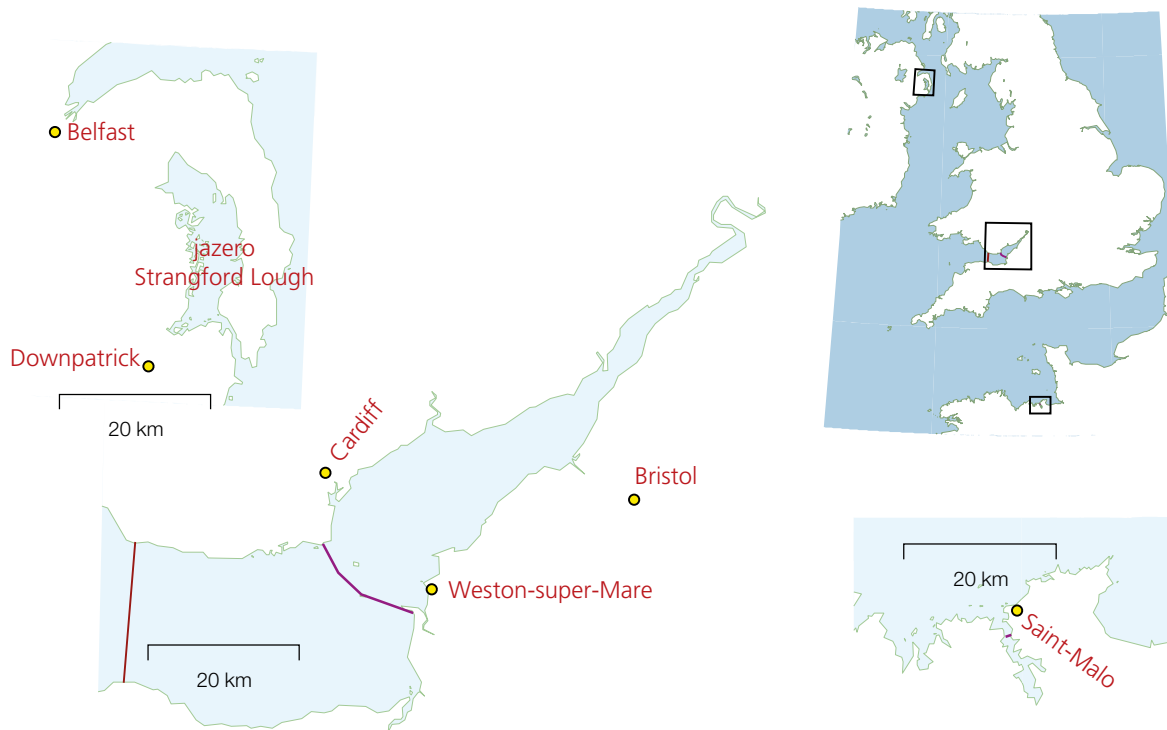
Jeden zo spôsobov, ako získať prílivovú energiu, je postavenie prílivovej elektrárne v štýle veterného parku. Prvý taký veterný mlyn pod vodou, respektíve „prílivový prietokový“ generátor pripojený k rozvodnej sieti, bola „300 kW“ turbína, inštalovaná v roku 2003 blízko nórskeho mesta Hammerfest. Presné množstvo skutočne vyrobeného výkonu zatiaľ nebolo publikované a doteraz nik nepostavil park na dne mora, takže aby sme zistili ich výkon, budeme sa musieť spoliehať iba na fyziku a výpočty. Tabuľka 14.7 ukazuje výkon prílivovej prietokovej elektrárne pre vybrané prílivové prúdy pri predpoklade, že zákony pre rozmiestnenie turbín sú podobné ako pre veterný park, a že účinnosť bude rovnaká ako v prípade najlepších veterných turbín.

Ak vieme, že bežné sú slapové prúdy s rýchlosťou 2 až 3 uzly, existuje mnoho miest na Britských ostrovoch, kde možno získať plošný výkon až 6 W/m<sup>2</sup> alebo viac. Táto koncentrácia výkonu je porovnateľná s hodnotami veterných parkov (2 - 3 W/m<sup>2</sup>) a FV solárnych elektrární (5 - 10 W/m<sup>2</sup>).

Výkon z prílivu a odlivu nie je na zahodenie! Koľko ho tak môžeme získať na najvhodnejších miestach okolo Veľkej Británie, ak zanedbáme existujúce ekonomické problémy? Kapitola G sumarizuje rýchlosti prúdov vo Veľkej Británii na týchto miestach a podľa výpočtov by bolo možné získať **9 kWh/d na osobu**.

## Priehrady

Prílivové priehrady sú overenou technológiou. Slávna priehrada v La Rance vo Francúzsku, kde je rozdiel prílivu a odlivu v priemere až 8 metrov, vyrába od roku 1966 v priemere 60 MW elektrického výkonu. Rozsah prílivu a odlivu v ústí rieky Severn je takisto neobvykle veľký. Pri meste Cardiff je to 11,3 metra pri skokových prílivoch a 5,8 m pri hluchých prílivoch [druhý najväčší na svete – pozn. prekl.]. Ak by sme umiestnili priehradu naprieč ústím (od Weston-super-Mare do Cardiffu), znamenalo by to 500 km<sup>2</sup> veľkú nádrž (obr. 14.8). Všimnite si, o koľko väčšia je táto nádrž v porovnaní s ústím pri La Rance. Koľko výkonu by mohla vyrobiť táto nádrž, ak by do nej vtekala a vytekala voda pri ideálnych podmienkach, vyrábajúc výkon pri oboch procesoch? Na základe teoretických výpočtov podľa tabuľky 14.4, ak je rozdiel hladín 11,3 metra, priemerný vyrobený výkon priehradou (pri 30 W/m<sup>2</sup>) by bol najviac 14,5 GW alebo **5,8 kWh/d na osobu**. Keď je rozsah 5,8 metra, priemerný výkon vyrobený priehradou (pri 8 W/m<sup>2</sup>) by bol najviac 3,9 GW alebo **1,6 kWh/d na osobu**. Tieto čísla predpokladajú, že voda vtečie dovnútra jednorazovo pri vrchole prílivu a pri odlive jednorazovo vytečie. V skutočnosti by sa však vtekanie a vytekanie uskutočňovalo niekoľko hodín, čo by viedlo k určitému zníženiu získaného výkonu.



Podľa súčasného návrhu by turbíny pracovali iba v jednom smere prúdenia vody, čo znižuje výkon o ďalších 50 %. Podľa správ inžinierov, ktorí navrhovali priehradu Severn, by sa výkon získaval iba pri vytekaní vody, čím by sme dosiahli **0,8 kWh/d na osobu**. Priehrada by zároveň poskytla ochranu pred záplavami a zabránila ročným stratám až 120 miliónov libier.

### Prílivové lagúny

Prílivové lagúny je možné vybudovať postavením stien v mori; možno ich potom využiť ako umelé zátoky. Aby sme mohli vybudovať lagúny, potrebujeme plytkú vodu a veľký rozsah prílivu a odlivu. Platia tu aj ekonomické zákony: veľké lagúny vyrábajú elektrinu lacnejšie ako menšie. Hlavné lokality veľkých lagún vo Veľkej Británii sú zátoka Wash na východnom pobreží a vody blízko Blackpoolu na západnom pobreží (obr. 14.9). Menšie lagúny je možné postaviť v severnom Walese, Lincolnshire, južnom Walese a vo východnom Sussexe.

Pri postavení dvoch lagún na jednom mieste je možné použiť trik na zvýšenie získaného výkonu a tiež dodávať elektrinu kedykoľvek bez ohľadu na stav prílivu a odlivu. Jednu lagúnu je možné označiť za vysokú, druhú za nízku. Pri odlive je možné časť elektriny získavanej pri vyprázdňovaní vysokej lagúny použiť na vypumpovanie vody z nízkej lagúny a znížiť tak jej vodnú hladinu oproti moru.

Obrázok 14.8 Návrhy priehrad Severn (vľavo dole) a Strangford Lough, Severné Írsko (vľavo hore), zobrazené na tej istej mierke ako priehrada pri La Rance (vpravo dole). Mapa ukazuje dve navrhované lokality pre priehradu Severn. Priehrada vo Weston-super-Mare by v priemere vyrábala 2 GW (0,8 kWh/d/ na osobu). Vonkajšia alternatíva by dodávala dvojnásobné množstvo.

V Severnom Írsku je významný zdroj prílivej energie v Strangford Lough s plochou 150 km<sup>2</sup>; rozsah prílivu v Írskom mori je 4,5 m pri skokových a 1,5 m pri hluchých slapoch – bohužiaľ, nie tak veľa ako v prípade priehrad v La Rance alebo Severn. Hrubý výkon prírodných nadrží v Severnom Írsku v Strangford Lough je zhruba 150 MW, ktorý po rozdelení medzi 1,7 milióna obyvateľov Severného Írska predstavuje 2 kWh/d na osobu. Strangford Lough je miesto, kde bol prvý raz pripojený prílivový prietokový generátor k rozvodnej sieti vo Veľkej Británii.



Obrázok 14.9 Dve prílivové lagúny, každá s rozlohou 400 m<sup>2</sup>, jedna pri meste Blackpool a jedna v zátok Wash. Pre porovnanie je zobrazené ústie Severn.

Elektrina potrebná na vypumpovanie vody z nízkej lagúny sa vráti aj s úrokmi pri prílive, keď sa elektrina získava pri vtekaní vody do nízkej lagúny. Podobne možno dodatočnú vodu pumpovať do vysokej lagúny pri prílive s použitím elektriny vyrábanej nízkou lagúnou. V ktorejkoľvek fáze prílivu a odlivu môže pracovať vždy jedna alebo druhá lagúna. Takáto dvojica prílivových lagún by mohla fungovať ako prečerpávacie zariadenie, uskladňujúce nadbytok energie z elektrickej siete.

Priemerná koncentrácia výkonu prílivových lagún v britských vodách by mohla dosahovať 4,5 W/m<sup>2</sup>, takže ak by sme ich postavili na ploche 800 km<sup>2</sup> (obr. 14.9), získavaný výkon by bol 1,5 kWh/d na osobu.

### Krásy prílivu a odlivu

Ak všetko spočítame, tak priehrady, lagúny a prílivové prietokové elektrárne by mohli dodávať okolo 11 kWh/d na osobu (obr. 14.10).

Doteraz sa výkon prílivu a odlivu vo Veľkej Británii priemyselne nevyužíval, je preto ťažké predpokladať, akým ekonomickým a technickým problémom by čelilo postavenie a udržiavanie prílivových turbín: hrdzaveniu, hromadeniu nánosov bahna alebo obrastaniu? Existuje však sedem dôvodov na optimizmus vzhľadom na prílivovú energiu vo Veľkej Británii: 1. Výkon prílivu a odlivu je dokonale predpovedateľný; na rozdiel od vetra a Slnka ide o obnoviteľný zdroj, na ktorý sa možno spoľahnúť; funguje vo dne v noci, po celý rok; energiu z prílivových lagún je možné uskladňovať a podľa požiadaviek poskytnúť. 2. Prílivu aj odlivu trvá 12 hodín, kým obehne Britské ostrovy, takže najsilnejšie prúdy sa v oblastiach Anglesey, Islay, Orknejov a Doveru vyskytujú v rôznych časoch; spolu by súbor prílivových elektrární poskytoval stabilnejší zdroj príkonu do siete ako jedna elektráreň, aj keď by sa zosilňoval a zoslaboval podľa fáz Mesiaca. 3. Výkon prílivu a odlivu bude k dispozícii milióny rokov. 4. Na rozdiel od fotovoltaických systémov nevyžaduje finančne náročné zariadenia. 5. Pretože koncentrácia výkonu typického prílivu a odlivu je vyššia ako koncentrácia výkonu vetra, 1 MW prílivová turbína je menšia ako 1 MW veterná turbína; možno by teda podmorské turbíny mohli byť lacnejšie ako veterné. 6. Život pod vlnami je pokojnejší a nevyskytujú sa tu extrémne búrky; takže na rozdiel od veterných turbín, ktoré potrebujú nákladné konštrukcie, aby vydržali aj zriedkavé víchrice, podmorské turbíny nebudú vo svojej konštrukcii vyžadovať veľké zabezpečenie. 7. Ľudia žijú väčšinou na súši a pod vodu nevidia, takže obavy o estetický vplyv turbín by mali byť menšie ako v prípade veterných turbín.

## Mýty

**„Aj keď je výkon prílivu a odlivu čistý a zelený, nemali by sme ho považovať za obnoviteľný. Jeho získavanie spomaľuje rotáciu Zeme. Určite ho nemôžeme využívať dlhodobo.“**

Nesprávne. Už prirodzené prílivy a odlivy spomaľujú rotáciu Zeme. Prírodné tempo znižovania rotačnej energie je 3 TW (Shepherd, 2003). Pre prírodné trenie sa každých sto rokov deň predĺži o 2,3 milisekundy. Mnoho zariadení na získavanie energie z prílivov a odlivov iba získava energiu, ktorá by sa aj tak stratila pri trení. Ak by sa nám však aj podarilo zdvojnásobiť množstvo takto odoberanej energie zo systému Zem-Mesiac, stále by bola k dispozícii viac ako miliardu rokov.

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

82 *Výkon z umelej nádrže.* Plošný výkon z nádrže je odvodený v kapitole G, strana 311.

- *Veľkú Britániu už zásobujú prirodzené nádrže... táto nádrž sa nazýva Severné more.* Nemal by som vyvolávať dojem, že Severné more sa naplní a vyprázdňuje na britskom pobreží ako nádrž. Prúdy v Severnom mori sú zložitejšie, pretože čas potrebný na vznik prúdu, ktorý potom putuje cez more, je podobný času medzi prílivmi a odlivmi. Napriek tomu existujú obrovské slapové prúdy zo Severného mora, doň a v rámci neho tiež.

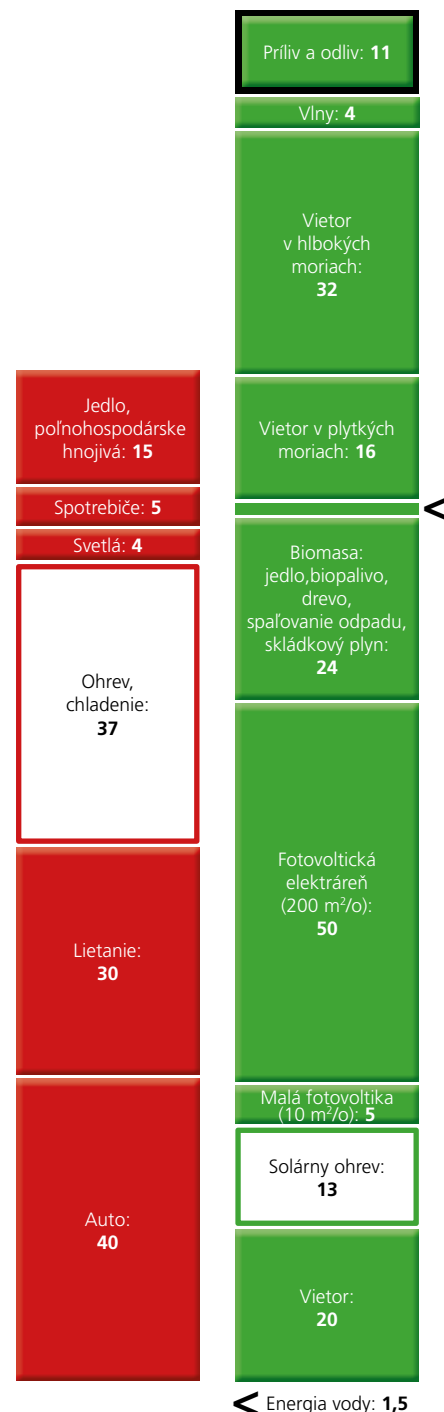
83 *Celkový príkon prechádzajúci cez tieto dve línie bol určený v priemere na 100 kWh za deň na osobu.* Zdroj: Cartwright a kol. (1980). Čitatelia, ktorých zaujímajú základné výpočty, ich nájdú v kapitole G.

84 *La Rance* vyrobila 16 TWh za 30 rokov. To znamená priemerný výkon 60 MW (maximálny výkon je 240 MW). Rozsah prílivov a odlivov je do 13,5 m; využívaná plocha je 22 km<sup>2</sup>; hrádza je dlhá 750 m. Priemerná koncentrácia výkonu: 2,7 W/m<sup>2</sup>. Zdroj: [6xrm5q].

85 *Podľa správ inžinierov navrhovanej priehrady Severn... povedzme 17 TWh/rok.* (Taylor, 2002b). Toto (2GW) v priemere zodpovedá 5 % súčasnej spotreby elektriny vo Veľkej Británii.

86 *Priemerná koncentrácia výkonu prílivových lagún v britských vodách by mohla dosahovať 4,5 W/m<sup>2</sup>.* MacKay (2007a).

v kWh/d



Obrázok 14.10 Prílív a odliv.



Obrázok 15.1 Reklama na odpad od Selfridges.

## 15 Výrobky

Jedným z najväčších žrútov energie v rozvinutom svete je výroba predmetov každodennej spotreby. Ich životný cyklus prechádza tromi fázami. V prvej fáze sa nový výrobok objaví v žiarivom obale v regáli obchodu. V tejto fáze nazývame výrobky „tovar“. Len čo výrobok kúpime, odnesieme domov a rozbalíme, zmení sa jeho status z „výrobku“ na „sluhu“. V tejto fáze žije so svojim majiteľom niekoľko mesiacov až rokov. Počas tohto obdobia ho majiteľ zväčša ignoruje, pretože je zaneprázdnený kupovaním ďalšieho tovaru. Nakoniec, vďaka vymoženostiam modernej alchymie, sa sluha premení na svoju poslednú formu, odpad. Neskúsený pozorovateľ môže mať problém rozlíšiť medzi týmto „odpadom“ a vysoko ceneným „tovarom“, ktorým bol v minulosti. V každom prípade, v poslednej fáze zaplatí majiteľ smetiariom za jeho odvoz.

Povedzme, že chceme pochopiť celkové energetické náklady výrobkov, možno s cieľom vytvárať lepšie výrobky. Vtedy hovoríme o analýze životného cyklu. Je vhodné rozdeliť energetické náklady všetkého, od fény až po výletnú loď, na štyri fázy:

**Fáza S: Výroba surovín.** Táto fáza zahŕňa ťažbu materiálov zo zeme, ich tavenie, čistenie, premenu na požadovaný materiál: napríklad na plast, sklo, kovy, keramiku. Energetické náklady týchto činností zahŕňajú aj dopravné náklady surovín.

**Fáza V: Výroba.** V tejto fáze sa suroviny spracujú do formy požadovaného výrobku. Fabrika, kde vinú cievky fény, vytláčajú jeho ladné krivky a jednotlivé súčiastky dávajú starostlivo dokopy, spotrebúva teplo a svetlo. Energetické náklady tejto fázy zahŕňajú balenie a ďalšiu dopravu.

**Fáza P: Použitie.** Fény aj výletné lode požírajú energiu pri činnosti, pre ktorú ich vyrobili.

**Fáza O: Odpad.** Táto fáza zahŕňa energetické náklady na vrátenie tovaru do diery v zemi (skládka) alebo na navrátenie tovaru do podoby suroviny (recyklovanie) a na upratanie všetkého s výrobkom súvisiaceho znečistenia.

Aby sme pochopili, koľko energie vyžaduje životný cyklus výrobkov, je potrebné odhadnúť energetické náklady každej spomínanej fázy a spočítať ich. V energetických nákladoch zväčša dominuje zo štyroch fáz iba jedna, takže pre zmysluplný odhad celkovej energie stačí určiť energetické náklady dominantnej fázy. Ak by sme sa pokúšali výrobok nanovo navrhnuť a znížiť

Zabudovaná energia (kWh na kg)	
Fosílné palivo	10
Drevo	5
Papier	10
Sklo	7
PET fľaša	30
Hliník	40
Oceľ	6

Tabuľka 15.2 Zabudovaná energia rôznych materiálov.



celkové energetické náklady, mali by sme sa zamerať na dominantnú fázu a zároveň sa ubezpečiť, že energetické úspory v tejto etape nie sú spojené s nárastom spotreby energie v ostatných troch fázach.

Skôr ako by sme podrobne skúmali, koľko príkonu potrebuje neprestajúca produkcia a preprava výrobkov, pozrieme sa na pár bežných príkladov: obaly nápojov, počítače, batérie, letáky, autá a domy. V tejto kapitole sa zameriame na energetické náklady fáz S a V. Často sa o týchto nákladoch hovorí ako o „zabudovanej“ energii výrobku – hoci ide o mierne zavádzanie, pretože táto energia vo výrobku priamo nie je.

### Obaly nápojov

Predpokladajme, že máte radi Coca-Colu: vypijete päť plechoviek nadnárodných chemikálií denne a hliníkové plechovky vyhadzujete. Tomuto výrobku dominuje fáza výroby surovín. Výroba jednej hliníkovej plechovky vyžaduje 0,6 kWh. Takže vypitie obsahu piatich plechoviek denne znamená spotrebu **3 kWh/d**.

V prípade 500 ml PET fľašky (ktorá váži 25 g) je množstvo zabudovanej energie 0,7 kWh – čo je rovnako zlé ako hliníková plechovka!

### Iné spôsoby balenia

Priemerný Brit odhodí denne 400 g obalov, hlavne z jedla. Množstvo zabudovanej energie pre obaly sa pohybuje v rozsahu od 7 do 20 kWh na kilogram obalov ako sklo a papier cez plasty až po oceľové nádoby. Pri predpoklade, že typická hodnota je 10 kWh/kg, zistíme, že energetická stopa balenia je **4 kWh/d**. Malú časť tejto energie možno získať späť pri spálení odpadu, čo podrobnejšie preberieme v kapitole 27.

### Počítače

Výroba osobného počítača stojí približne 1 800 kWh energie. Ak kupujete každé dva roky nový počítač, zodpovedá to spotrebe energie **2,5 kWh za deň**.

### Batérie

Energia na výrobu dobíjateľných nikel-kadmiových AA batérií s hmotnosťou 25 g, uskladňujúcich 0,001 kWh elektriny, je 1,4 kWh (fázy S a V). Ak je energia na výrobu jednorazových batérií podobná, používanie dvoch AA batérií za mesiac znamená **0,1 kWh za deň**. Energetické náklady batérií sú preto pravdepodobne iba malou položkou v stĺpci našej celkovej spotreby.



Hliník: **3 kWh/d**



Balenie: **4 kWh/d**



Obrázok 15.3 Päť hliníkových plechoviek za deň predstavuje 3 kWh/d. Zabudovaná energia v ostatných vyhodnotených obaloch priemerným Britom je 4 kWh/d.

Čipy: **2,5 kWh/d**



Obrázok 15.4 Výroba čipov. Fotografia: ABB. Výroba jedného počítača každé dva roky stojí 2,5 kWh za deň.



Noviny, letáky,  
časopisy: **2 kWh/d**



Výstavba domov:  
**1 kWh/d**



Výroba áut:  
**14 kWh/d**



Výstavba ciest:  
**2 kWh/d**



### Noviny, časopisy, reklamné letáky

Noviny s 36 stránkami, rozdávané zadarmo na železničných staniciach, majú hmotnosť 90 g. Noviny Cambridge Weekly News (56 strán) majú 150 g. *The Independent* (56 strán) 200 g a 56-stránkový realitný reklamný lesklý časopis a magazín Cambridgeshire Pride (32 strán). Oba sú roznášané až domov zadarmo, majú hmotnosť 100 g a 125 g.

Táto záplava materiálov na čítanie a zbytočných reklám prechádzajúcich našimi poštovými schránkami obsahuje energiu. Energiu tiež treba na výrobu a dovoz. Kilogram papiera má energetickú stopu 10 kWh. Takže zabudovaná energia novín, časopisov a letákov v typickej poštovej schránke domácnosti – teda 200 g papiera denne (čo sa napríklad rovná časopisu *The Independent* denne) – je približne **2 kWh za deň**.

Recyklovanie papiera by ušetrilo približne polovicu energie potrebnej na výrobu; spálenie v spaľovni odpadov alebo doma v peci znamená zužitkovanie časti zabudovanej energie.

### Väčšie výrobky

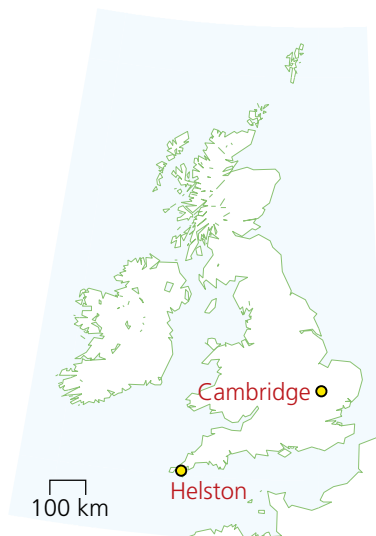
Medzi najväčšie výrobky, aké ľudia zväčša kupujú, patria domy.

V kapitole H som vypočítal energetické náklady na stavbu domu. Pri predpokladanej priemernej životnosti sto rokov to znamená 2,3 kWh za deň. Ide o energetické náklady výroby schránky domu – základov, tehál, dlaždíc a striech. Ak dom v priemere obývajú 2,3 osoby, priemerné energetické výdaje na výstavbu predstavujú **1 kWh/d na osobu**.

Čo autá a cesty? Autá vlastní iba niektorí z nás, cesty však používame všetci. Zabudovaná energia nového auta je 76 000 kWh, takže ak meníme auto každých 15 rokov, priemerné náklady sú **14 kWh za deň**. Treloar, Love a Crawford v analýze životného cyklu odhadli, že na postavenie 1 metra cesty potrebujeme 7 600 kWh (priebežne opravovaná betónová cesta), pri započítaní nákladov na údržbu sú celkové náklady za 40 rokov 35 000 kWh na meter. Prepočítajme tieto údaje na energetické náklady ciest vo Veľkej Británii, kde máme 44 600 km hlavných ciest a ciest 1. triedy (okrem diaľnic). Predpokladajme, že náklady na stavbu sú 35 000 kWh na meter za 40 rokov, náš cesty stoja **2 kWh/d na osobu**.

### Doprava tovaru

Doteraz som sa snažil počítať osobnú spotrebu. „Ak vyhodíte päť plechoviek od Coca-Coly, znamená to 3 kWh; ak si kúpite *The Independent*, znamená to 2 kWh.“ Ďalej sa budem venovať záležitostiam o niečo menej osobným. Pri počítaní energie potrebnej na dopravu predmetov po celej krajine nám poslušia priemerné údaje na celú krajinu, ktoré vydělím počtom obyvateľov.



Obrázok 15.5 Kilometre pre jedlo – pirohy vyrobené v Helstone, Cornwalle, prepravené loďou 580 km na konzumáciu v Cambridgei.

Nákladná doprava sa meria v jednotkách ton-kilometre (t-km). Ak prepravíme jednu tonu cornwalských pirohov na vzdialenosť 580 km (obr. 15.5), potom hovoríme o nákladnej doprave 580 t-km. Energetická náročnosť cestnej dopravy vo Veľkej Británii je približne **1 kWh na t-km**.

Keď nákladná loď na obrázku 15.6 dopraví 50 000 ton nákladu na vzdialenosť 10 000 km, dosiahne 500 miliónov t-km nákladnej dopravy. Energetická náročnosť lodnej dopravy vo Veľkej Británii je približne **0,015 kWh na t-km**. Všimnite si, o koľko je účinnejšia lodná doprava oproti cestnej. Porovnanie je uvedené v tabuľke 15.8.



Obrázok 15.6 Nákladná loď Ever Uberty v termináli Thamesport. Fotografia: Ian Boyle [www.simplonpc.uk](http://www.simplonpc.uk).

#### Doprava tovaru po ceste

Celková cestná doprava vo Veľkej Británii v roku 2006, čo sa týka nákladných vozidiel, predstavovala 156 miliárd t-km. Po rozdelení medzi 60 miliónov obyvateľov to znamená 7 t-km za deň na osobu, teda **7 kWh/d na osobu** (pri predpokladanej energetickej intenzite 1 kWh na t-km). Mimochodom, jedna štvrtina z tejto dopravy predstavuje dopravu jedla, nápojov a tabaku.

#### Doprava tovaru po vode

V roku 2002 prešlo britskými prístavmi 560 miliónov ton tovaru. Podľa výpočtov Tyn dallovho centra tvoril vo Veľkej Británii podiel medzinárodnej lodnej dopravy **4 kWh/d na osobu**.

Nákladná cestná  
doprava: **7 kWh/d**



Obrázok 15.7 Kamión doviezol a kamión odviezol. Energetické náklady nákladnej cestnej dopravy vo Veľkej Británii: 7 kWh na osobu.

Lodná doprava:  
**4 kWh/d**



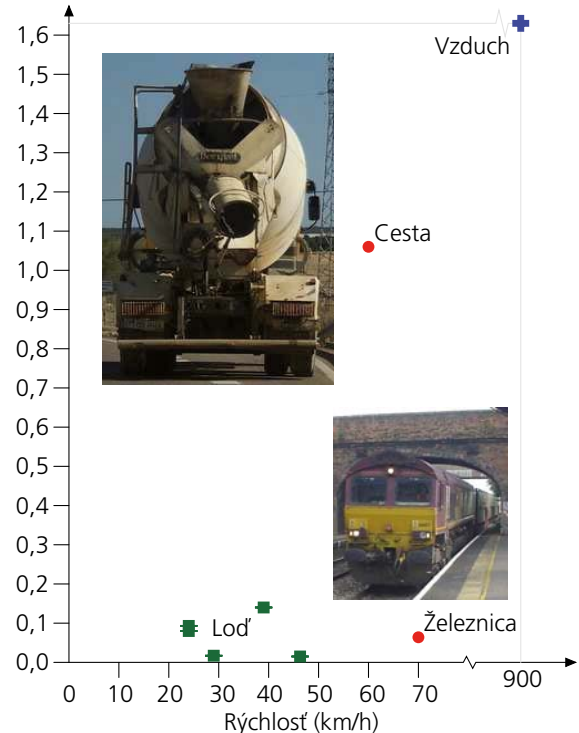
Obrázok 15.8 Energetické požiadavky rôznych spôsobov nákladnej dopravy. Vertikálna os ukazuje spotrebovanú energiu v kWh na celkové t-km, (t. j. energiu na t-km presunutého nákladu, bez započítania hmotnosti vozidla). Pozri aj obrázok 20.23 (energetické požiadavky na dopravu cestujúcich).



Doprava po vode vyžaduje energiu, pretože čln vytvára vlny. Napriek tomu je doprava po vode prekvapujúco energeticky účinná.



Spotreba energie (kWh/t-km)



### Doprava vody; toaleta

Doprava a spracovanie vody: **0,4 kWh/d**

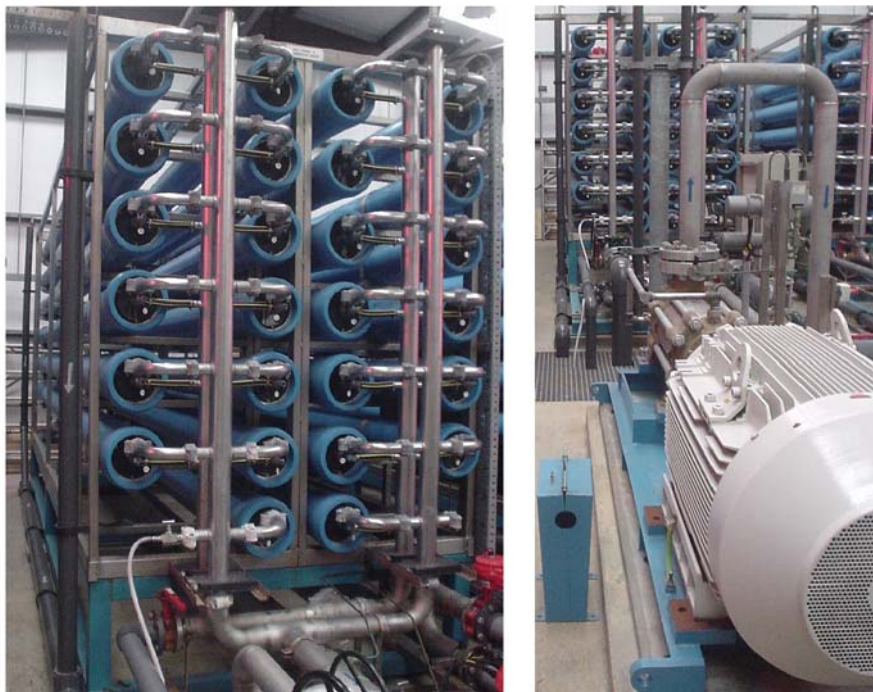
Obrázok 15.9 Doprava vody: 0,3 kWh/d; spracovanie odpadu: 0,1 kWh/d.

Voda nie je príliš prítlačivá tekutina, ale používame jej veľa – približne 160 litrov za deň na osobu. Na oplátku dodávame 160 litrov odpadových vôd za deň na osobu. Náklady na dopravu vody po celej krajine a na spracovanie odpadových vôd sú približne **0,4 kWh za deň na osobu**.

### Odsolovanie

V súčasnosti Veľká Británia nevyužíva na odsolovanie žiadnu energiu. Uvažuje sa o tom však v Londýne. Aké sú energetické náklady premeny slanej vody na pitnú? Najmenej energeticky náročná metóda je reverzná osmóza. Vezmite membránu, ktorá prepúšťa iba vodu, na jednu stranu dajte slanú vodu a pod tlakom ju pretlačajte. Voda cez membránu neochotne pretečie a vznikne čistejšia voda – neochotne preto, že čistá voda zbavená soli má nízku entropiu, zatiaľ čo príroda uprednostňuje vysokú entropiu, kde je všetko pomiešané. Musíme platiť vysokokvalitnou energiou, aby sme dosiahli odsolenie.

Na ostrove Jersey je odsolovacie zariadenie, ktoré vyrába 6 000 m<sup>3</sup> čistej vody denne (obr. 15.10). Celá továrň, vrátane púmp potrebných na prenos vody z mora a cez množstvo filtrov, potrebuje výkon 2 MW. To znamená energetické náklady 8 kWh na m<sup>3</sup> vyrobenej vody. Pri nákladoch 8 kWh na m<sup>3</sup> a dennej spotrebe vody 160 litrov by to znamenalo **1,3 kWh za deň**.



Obrázok 15.10 Časť zariadenia na reverznú osmózu v odsolovacom zariadení na ostrove Jersey. Pumpa vpravo v popredí má výkon 355 kW a tlačí morskú vodu pod tlakom 65 barov do 39 špirálovitých membrán v nádobách modrých horizontálnych trubíc, vľavo, a dodáva 1 500 m<sup>3</sup> čistej vody denne. Čistá voda z tohto zariadenia má celkové energetické náklady 8 kWh na m<sup>3</sup>.

### Maloobchodný tovar

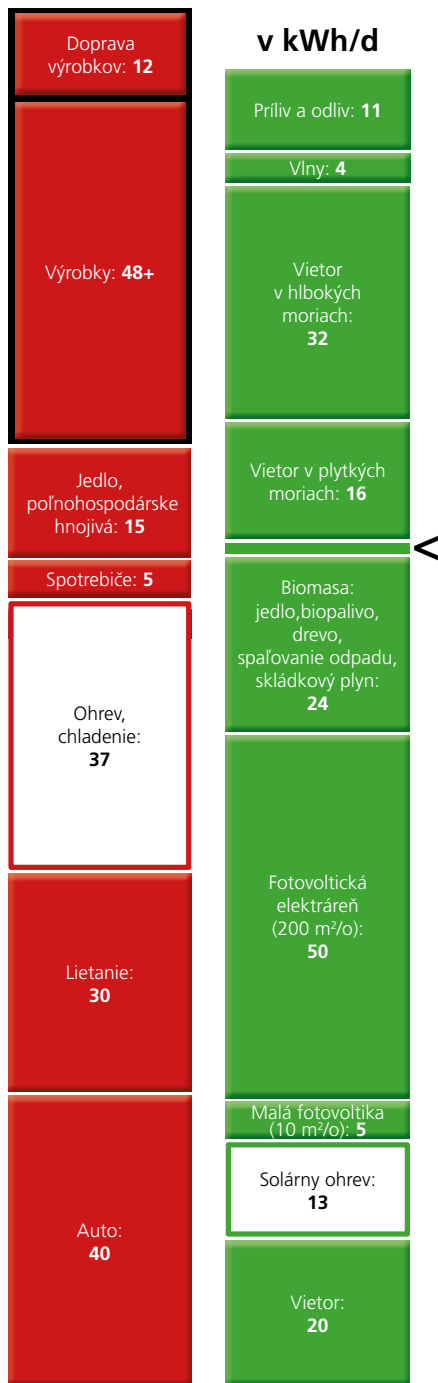
Supermarkety vo Veľkej Británii spotrebujú približne 11 TWh energie za rok. Rovnomerne rozdelené medzi 60 miliónov šťastných nakupujúcich to znamená výkon **0,5 kWh za deň na osobu**.

Supermarkety:  
**0,5 kWh/d**

### Význam dovezeného tovaru

V bežných výpočtoch „spotreby energie vo Veľkej Británii“ alebo „uhlíkovej stopy Veľkej Británie“ sa o dovezenom tovare neuvažuje. Vo Veľkej Británii sme zvykli tovar pre svoje potreby vyrábať doma a v roku 1910 uhlíková stopa na obyvateľa bola taká vysoká, ako je v Amerike teraz. Dnes sa vo Veľkej Británii toľko nevyrába (takže naša spotreba energie a emisie CO<sub>2</sub> o niečo poklesli), stále však milujeme rôzne vecičky a vyrábajú ich pre nás iné krajiny. Mali by sme ignorovať energetické náklady na ich výrobu, pretože sú dovezené? Nemyslím si. Dieter Helm s kolegami z Oxfordu určili, že pri započítaní dovozu a vývozu je uhlíková stopa vo Veľkej Británii takmer dvojnásobná oproti oficiálnemu „11 ton ekvivalentu CO<sub>2</sub> na osobu“, teda až 21 ton. To znamená, že najväčšia energetická stopa priemerného Brita sa schováva v energetických nákladoch dovážaného tovaru.

V kapitole H sa tejto myšlienke venujem rozsiahlejšie z pohľadu hmotnosti dovážaného tovaru. Ak vynecháme dovoz paliva, dovážame niečo vyše 2 ton tovaru na osobu za rok, z ktorých je približne 1,3 tony na osobu



Obrázok 15.11  
Výroba predmetov nás stojí najmenej 48 kWh/d. Ich doprava stojí 12 kWh/d.

spracovaných a vyrobených v podobe áut, prístrojov, bielej techniky, elektrických a elektronických zariadení. Predstavuje to približne 4 kg spracovaného tovaru za deň na osobu. Tento tovar zväčša pozostáva z materiálov, ktorých výroba vyžaduje najmenej 10 kWh energie na kilogram tovaru. Preto odhadujem, že autá, chladničky, mikrovlnné rúry, počítače, kopírky a televízory majú zabudovanú energiu najmenej 40 kWh za deň na osobu.

Po spočítaní všetkých foriem tovaru a jeho transportu pridám do stĺpca spotreby **48 kWh za deň na osobu** potrebných na výrobu tovaru (z čoho najmenej 40 tvorí dovoz, 2 denná tlač, 2 stavba ulíc, 1 stavba domov a 3 balenie); ďalších **12 kWh za deň na osobu** na transport tovaru po mori, cestách a potrubiami, a uskladňovanie potravín v supermarketoch.

*Pracuj, aby si mohol nakupovať.*

„Porekadlo“

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

- 89 *Jedna nápojová hliníková plechovka vyjde až na 0,6 kWh.* Hmotnosť jednej plechovky je 15 g. Výpočty celkových energetických nákladov na jej výrobu sa pohybujú v rozmedzí od 60 MJ/kg do 300 MJ/kg. [yx7zm4], [r22oz], [yhrest]. Údaj, ktorý som použil, je od The Aluminium Association [y5as53]: 150 MJ na kg hliníka (40 kWh/kg).
- *Zabudovaná energia PET fľaše na vodu.* Zdroj: Hammond a Jones (2006) – zabudovaná energia v PET fľaši je 30 kWh na kg.
- *Priemerný Brit odhodí 400 g obalov denne.* V roku 1995 sa vo Veľkej Británii spotrebovalo 137 kg obalov na osobu (Hird a kol., 1999).
- *Výroba osobného počítača stojí približne 1 800 kWh energie.* Z hľadiska fosílnych palív vyžaduje výroba PC 11-násobok svojej vlastnej hmotnosti. V prípade chladničiek, áut a pod. je to zhruba 1 až 2-násobok. Williams (2004); Kuehr (2003).
- *...dobijateľné nikel-kadmiové batérie.* Zdroj: Rydh a Karlström (2002).
- *...ocel!...* podľa Swedish Steel: „Spotreba uhlia a koxu je 700 kg na tonu vyrobenej ocele, čo sa rovná približne 5 320 kWh na tonu vyrobenej ocele. Spotreba ropy, LPG a elektriny je 710 kWh na tonu hotového produktu. Celková (primárna) spotreba energie je teda približne 6 000 kWh na tonu vyrobenej ocele.“ (6 kWh na kg). [y2ktgg]
- 90 *Zabudovaná energia nového auta je 76 000 kWh.* Zdroj: Treloar a kol. (2004). Burnham a kol. (2007) udávajú nižšie číslo: 30 500 kWh pre celkové energetické náklady na výrobu auta. Jedna z príčin rozdielu môže spočívať v tom, že Burnhamova analýza počíta aj s recykláciou materiálov, ktorá znižuje energetické náklady.

- *Zabudovaná energia papiera je 10 kWh na kg.* Výroba novín z dreva stojí približne 5 kWh/kg a samotný papier má energetický obsah podobný drevu, približne 5 kWh/kg. (Zdroj: Ucuncu (1993); Erdinçler a Vesilind (1993); pozri str. 284.) Energetické náklady sa líšia podľa jednotlivých fabriek a krajín. 5 kWh/kg platí pre fabriku vo Švédsku v roku 1973 podľa Norrströma (1980), ktorý vypočítal, že zvýšenie účinnosti môže znížiť náklady na približne 3,2 kWh/kg. Novšia analýza životného cyklu (Denison, 1997) odhaduje celkové energetické náklady na výrobu tlače v USA z dreva s následným uložením na skládke alebo v spaľovni na 12 kWh/kg; energetické náklady výroby dennej tlače z recyklovaného materiálu a jeho recyklácia znamená 6 kWh/kg.
- 91 *Energetická náročnosť cestnej dopravy vo Veľkej Británii je približne 1 kWh na t-km.* Zdroj: [www.dft.gov.uk/pgr/statistics/datatablespublications/energyenvironment](http://www.dft.gov.uk/pgr/statistics/datatablespublications/energyenvironment).
- *Energetická náročnosť lodnej dopravy vo Veľkej Británii je približne 0,015 kWh na t-km.* Nákladná loď The Ever Uberty – dĺžka 285 m, šírka 40 m – má kapacitu 4 948 TEUs, hmotnosť lode bez nákladu 63 000 t, rýchlosť 25 uzlov; normálny výkon motora je 44 MW. Jedna TEU má veľkosť malých 20-stopových kontajnerov – približne 40 m<sup>3</sup>. Väčšina dnešných kontajnerov sú 40-stopové kontajnery s veľkosťou 2 TEU. 40-stopový kontajner má hmotnosť 4 tony a odvezie 26 ton nákladu. Ak predpokladáme 50-percentnú účinnosť motora, energetická spotreba lode predstavuje 0,015 kWh chemickej energie na t-km. [www.mhi.co.jp/en/products/detail/container ship ever uberty.html](http://www.mhi.co.jp/en/products/detail/container%20ship%20ever%20uberty.html)
- *...vo Veľkej Británii podiel medzinárodnej lodnej dopravy...* Zdroj: Anderson a kol. (2006).
- 92 **Obrázok 15.8. Energetická spotreba lodí.** Päť bodov na obrázku sú nákladná loď (46 km/h), nákladná loď na suchý náklad (24 km/h), ropný tanker (29 km/h), vnútrozemská loď (24 km/h) a loď NS Savannah (39 km/h).

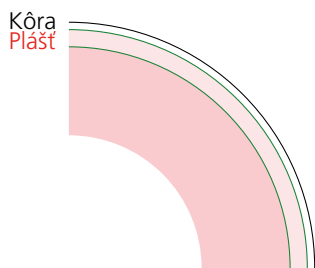
**Nákladná loď na suchý náklad** 0,08 kWh/t-km. Plavidlo s kapacitou 5 200 m<sup>3</sup> unesie 3 360 ton mŕtvej hmotnosti (to je maximálny možný náklad, ktorý loď unesie). Dosahuje rýchlosť 13 kn (24 km/h) [knots – uzlov – pozn. prekl.]; jeden jej motor s výkonom 2 MW spotrebuje 186 g paliva na jednu kWh (42 % účinnosť). [conoship.com/uk/vessels/detailed/page7.htm](http://conoship.com/uk/vessels/detailed/page7.htm)

**Ropný tanker** Moderný ropný tanker spotrebuje 0,017 kWh/t-km [6lbrab]. Hmotnosť nákladu: 40 000 t. Kapacita: 47 000 m<sup>3</sup>. Hlavný motor: 11,2 MW maximálny výkon. Rýchlosť pri výkone 8,2 MW: 15,5 kn (29 km/h). Energia obsiahnutá v náklade ropy je 520 miliónov kWh. Takže 1 % energie v palive sa spotrebuje na jeho prevoz na vzdialenosť ¼ cesty okolo Zeme (10 000 km).

**Lodná kombinovaná preprava tovaru** Lode spoločnosti Wilh. Wilhelmsen dovážajú náklad pri energetických nákladoch medzi 0,028 až 0,05 kWh/t-km [5ctx4k].

- *Dovoz vody a spracovanie odpadu stojí 0,4 kWh/d na osobu.* Celková spotreba energie vodného priemyslu v rokoch 2005 - 2006 bola 7 703 GWh. Zásobovanie 1 m<sup>3</sup> vody znamená 0,59 kWh. Spracovanie 1 m<sup>3</sup> odpadu znamená energetické náklady 0,63 kWh. Ak vás zaujímajú emisie skleníkových plynov, zásobovanie vodou má uhlíkovú stopu 289 g CO<sub>2</sub> na m<sup>3</sup> a spracovanie odpadovej vody má 406 g CO<sub>2</sub> na m<sup>3</sup>. Spotreba vody v domácnosti je 151 litrov za deň na osobu. Celková spotreba vody je 221 litrov za deň na osobu. Straty predstavujú 57 litrov za deň na osobu. Zdroje: Vládny úrad pre vedu a technológiu [[www.parliament.uk/documents/upload/postpn282.pdf](http://www.parliament.uk/documents/upload/postpn282.pdf)], Water UK (2006).
- 93 *Supermarkety vo Veľkej Británii spotrebujú 11 TWh/rok.* [yqbz13]
- *Helm a kol. vypočítali, že pri započítaní vývozu a dovozu sa uhlíková stopa Britov takmer zdvojnásobí na približne 21 ton.* (Helm a kol., 2007)





Obrázok 16.1 Prierez Zeme.



Obrázok 16.2 Príklad granitu.

## 16 Geotermálna energia

Geotermálna energia pochádza z dvoch zdrojov: z rádioaktívneho rozpadu v zemskej kôre a z tepla pochádzajúceho z jadra, ktoré preniká cez zemský plášť. Jadro Zeme je teplé, pretože Zem bola v minulosti žeravá a horúca a stále sa ochladzuje a tuhne; zdrojom tepla v zemskom jadre je taktiež trenie vznikajúce pri slapových javoch: Zem sa ohýba pôsobením gravitačných polí Mesiaca a Slnka, rovnako ako sa mení tvar pomaranča, keď ho stláčate a ohýbate v rukách.

Využívanie geotermálnej energie je veľmi lákavé, pretože je „stále k dispozícii“ bez ohľadu na počasie; ak by sme postavili elektrárne na geotermálny pohon, mohli by sme ich vypínať a zapínať podľa potreby.

Ale koľko takejto energie máme k dispozícii? Môžeme uvažovať o dvoch druhoch geotermálnej energie: o energii dostupnej na bežnej lokalite v zemskej kôre a o energii dostupnej iba na špecifických aktívnych miestach, ako je napríklad Island (obr. 16.3). Zatiaľčo najlepším miestom na rozvoj geotermálnej technológie sú jednoznačne takéto lokality, pre naše potreby budem predpokladať, že väčšie možnosti pochádzajú z bežných lokalít, pretože sú oveľa početnejšie.

Problém so získavaním geotermálnej energie *trvalo udržateľným* spôsobom je ten, že rýchlosť, akou teplo postupuje cez horniny, obmedzuje tiež rýchlosť, akou ho môžeme udržateľne odčerpávať z rozpáleného stredu planéty. Je to podobné, ako by sme sa snažili piť nápoj s rozdrveným ľadom cez slamku. Po prvom potiahnutí prichádza ľadová voda, ale ak pijete ďalej, zistíte, že srkate už len vzduch. Odčerpali ste všetku vodu z ľadu v okolí špičky slamky. Počiatočná rýchlosť pitia teda nebola trvalo udržateľná.

Ak strčíte „slamku“ 15 km hlboko do zeme, zistíte, že je tam príjemne teplo, dostatočne horúco na uvarenie vody. Takže je možné strčiť do zeme aj druhú slamku, pumpovať ňou studenú vodu dole a druhou slamkou pumpovať teplú paru smerom nahor. Môžete tak rozbehnúť elektrárňu. Neobmedzený zdroj príkonu? Nie. Po chvíľke čerpania tepla zo zeme teplota hornín v okolí klesá. Nečerpali ste trvalo udržateľným spôsobom. Musíte dosť dlho čakať, kým sa hornina v okolí slamky znovu ohreje. Možný prístup predstavuje analógiu k fosílnym palivám: na geotermálnu energiu sa budeme pozeráť ako na zdroj, ktorý budeme ťažiť, ale nie trvalo udržateľne zbierať. Existovať takýmto spôsobom v prípade geotermálnej energie môže byť pre planétu prijateľnejšie ako v prípade fosílnych palív; možno tak však získame energiu na ďalších povedzme 100 rokov? V tejto knihe sa však zaoberám *trvalo udržateľnou* energiou, ako naznačuje jej názov. Vypočítajme to.





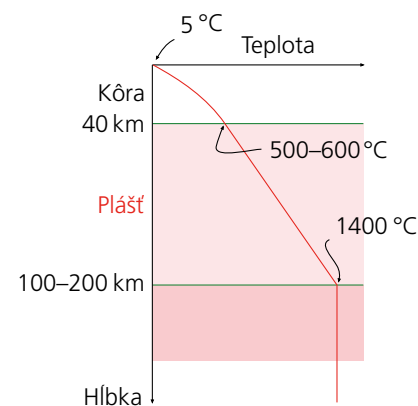
Obrázok 16.3 Geotermálna elektrárň na Islande. Priemerný elektrický výkon zo zemského tepla na Islande (populácia 300 000) v roku 2006 bol 300 MW (24 kWh/d na osobu). Viac ako polovica elektriny Islandu sa spotrebuje na výrobu hliníka. Fotografia: Gretar Ívarsson.

### Navždy udržateľná geotermálna energia

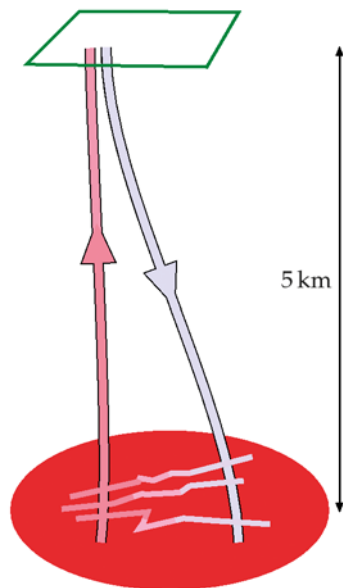
Najprv si predstavme geotermálnu energiu využívanú trvalo udržateľne tak, že strčíme „slamky“ do vhodnej hĺbky a budeme pomaly odsávať. Odsávať takou rýchlosťou, aby sa horniny v okolí koncov našich slamiiek neochladzovali stále viac a viac. To znamená odsávať energiu takou rýchlosťou, ktorou prichádza teplo zo zemského jadra.

Ako som už povedal, geotermálna energia prichádza z dvoch zdrojov: z rádioaktívneho rozpadu v kôre zeme a z tepla prenikajúceho z jadra cez zemský plášť. V typickom prípade je tok tepla prechádzajúci plášťom približne  $10 \text{ mW/m}^2$ . Tepelný tok na povrchu je asi  $50 \text{ mW/m}^2$ . Takže rádioaktívny rozpad pridal ďalších  $40 \text{ mW/m}^2$  k toku prichádzajúcemu od jadra.

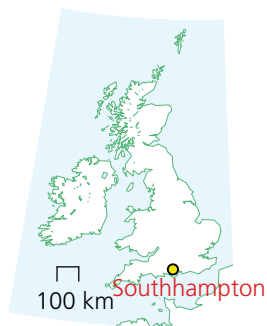
V typickej lokalite je teda maximálny výkon, ktorý môžeme získať na jednotku plochy,  $50 \text{ mW/m}^2$ . To však nie je kvalitný výkon, je to nízko kvalitné teplo, ktoré vychádza zo Zeme pri okolitej teplote. Predpokladám však, že my chceme vyrábať elektrinu, preto musíme vŕtať hlbšie. Teplo je užitočné iba vtedy, ak pochádza zo zdroja pri vyššej teplote, ako má okolie. Ako ukazuje obrázok 16.4, s hĺbkou sa teplota zvyšuje a v hĺbke 40 km dosahuje  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ . Optimálna hĺbka na získavanie energie leží medzi hĺbkou 0 km, kde je tok tepla najväčší, ale teplota hornín príliš nízka, a hĺbkou 40 km, kde sú horniny horúce, ale tok tepla je päťnásobne nižší (pretože nám chýba teplo vznikajúce pri rádioaktívnom rozpade). Presná optimálna hĺbka závisí od spôsobu získavania energie a použitej technológie. Maximálne množstvo trvalo udržateľnej energie môžeme zabezpečiť tak, že nájdeme optimálnu hĺbku pri predpoklade, že máme dokonalý motor premieňajúci teplo na elektrinu, a že vŕtanie do ľubovoľnej hĺbky je zadarmo.



Obrázok 16.4 Typický profil teploty na kontinentoch.



Obrázok 16.5 Posilnená geotermálna ťažba s vyššou účinnosťou zo suchých horúcich hornín. Jeden vrt je vyvŕtaný a natlakovaný, aby vytvoril trhliny. Druhý vrt je vedený na okraji narušenej zóny. Dolu jedným vrtom sa tlačí studená voda a hore druhým vrtom ide zohriata voda (nakoniec para).



V prípade profilu teploty zobrazeného na obrázku 16.4 som vypočítal, že optimálna hĺbka je okolo 15 km. Pri týchto podmienkach by ideálny tepelný motor dodával výkon  $17 \text{ mW/m}^2$ . Pri hustote obyvateľov sveta 43 ľudí na  $\text{km}^2$  to znamená 10 kWh za deň na osobu, ak by sme využili všetky kontinenty. Vo Veľkej Británii je hustota obyvateľov 5-násobne vyššia ako vo zvyšku sveta, takže veľkoplošná geotermálna trvalo udržateľná energia by znamenala najviac **2 kWh za deň na osobu**.

Táto hodnota predpokladá trvalú udržateľnosť navždy. Ignoruje geotermálne aktívne miesta, predpokladá dokonalé elektrárne, využitie každého štvorcového metra krajiny a predpokladá možnosť vŕtať do hĺbky 15 km.

### Ťažba geotermálnej energie

Iná stratégia je pristupovať ku geotermálnej energii ako k zdroju, ktorý možno vyťažiť. Pri získavaní geotermálnej energie posilnenej injektážou zo suchých, horúcich hornín (obr. 16.5) najprv vŕtame do hĺbky 5 alebo 10 km a rozbijeme horninu prúdom vody (tento krok môže spôsobiť zemetrasenie, čo miestni obyvatelia nemusia dobre prijať). Potom navŕtame druhú studňu do miesta zlomu. Následne pumpujeme vodu dole jedným vrtom a vyťahujeme prehriatu vodu druhým vrtom. Vodu potom môžeme využiť na získavanie elektriny alebo tepla. Aké sú zásoby suchých horúcich hornín vo Veľkej Británii? Nanešťastie, krajina nie je na tento účel vybavená. Väčšina zdrojov je v Cornwalle, kde sa už v roku 1985 uskutočnili niektoré prvé geotermálne pokusy na výskumnej stanici pri Rosemanowes, ktorá je teraz zatvorená. Špecialisti pri prebiehajúcich experimentoch dospeli k záveru, že „získavanie elektriny zo suchých horúcich hornín v Cornwalle nebude v krátko- ani strednodobom výhľade pravdepodobne technicky ani komerčne dostupné“. Aj napriek tomu, o aký veľký zdroj ide? Najvyšší odhad zdrojov zo suchých horúcich hornín vo Veľkej Británii je 130 000 TWh celkovej energie, ktorý by podľa špecialistov mohol teoreticky prispievať množstvom elektrickej práce **1,1 kWh za deň na osobu** približne počas 800 rokov.

Iné lokality na svete disponujú sľubnejšími zdrojmi, takže ak by ste mali záujem o informácie o potenciálnych možnostiach v iných krajinách, neváhajte sa opýtať miestnych odborníkov. Ale vo Veľkej Británii pôjde nanešťastie vždy o okrajové využitie.

### **Nevyužíva sa už geotermálna energia v Southamptone? Koľko energie tak získavame?**

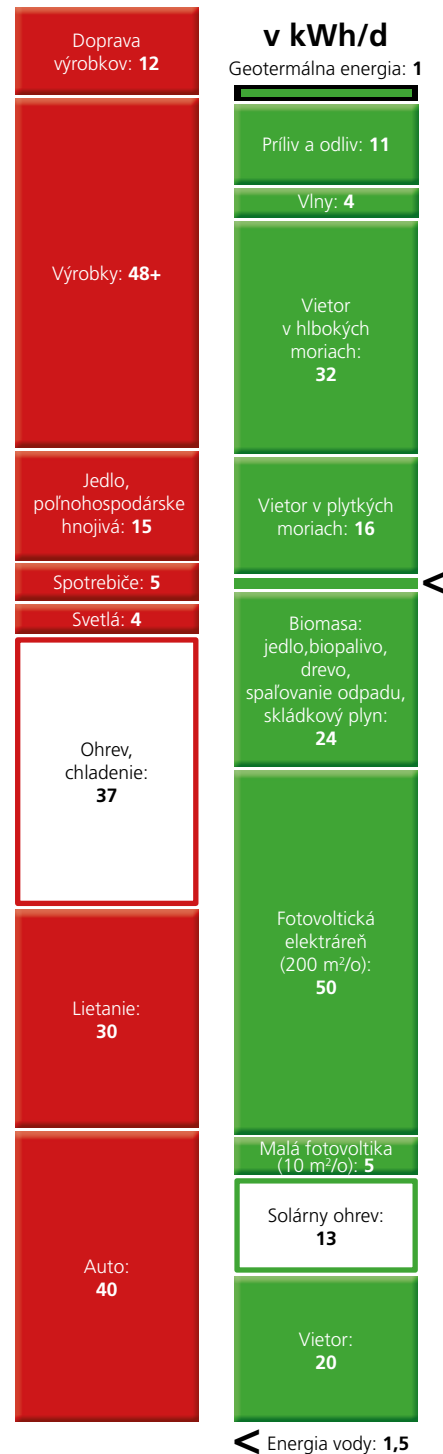
Áno, geotermálny vykurovací systém (Geothermal District Heating Scheme) v Southamptone bol aspoň v roku 2004 jediným svojho druhu vo Veľkej Británii. Zásobuje mesto teplou vodou. Geotermálna studňa je časťou kombinovaného tepelného, elektrického a chladiaceho systému, ktorý dodáva zákazníkovi teplú a chladenú vodu a predáva elektrinu do siete. Geotermálna energia prispieva asi 15 % z celkových 70 GWh tepla ročne, ktoré celý tento systém dodáva. V Southamptone žilo podľa posledného sčítania 217 445 ľudí,

takže množstvo dodaného geotermálneho výkonu predstavuje **0,13 kWh/d** na obyvateľa tohto mesta.

### Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

- 97 *Tok tepla na povrchu je 50 mW/m<sup>2</sup>.* Massachusettský technologický inštitút (MIT, 2006) udáva 59 mW/m<sup>2</sup> v priemere, s rozsahom od 25 mW do 150 mW v USA. Shepherd (2003) udáva 63 mW/m<sup>2</sup>.
- 98 *„Získavanie elektriny zo suchých horúcich hornín v Cornwalle nebude v krátko-ani strednodobom výhľade pravdepodobne technicky alebo komerčne dostupné.“* Zdroj: McDonald a kol. (1992). Pozri tiež Richards a kol. (1994).
- *Najvyšší odhad zdroja suchých horúcich hornín vo Veľkej Británii... by mohol teoreticky prispieť množstvom elektriny 1,1 kWh za deň na osobu počas 800 rokov.* Zdroj: MacDonald a kol. (1992).
  - *Iné lokality na svete disponujú slubnejšími zdrojmi.* Cenná štúdia (MIT, 2006) opisuje zásoby zdrojov v horúcich suchých horninách v USA. Iný, ešte špekulatívnejší prístup k získavaniu energie, ktorý v 70. rokoch skúmali Sandia National Laboratories, je založený na vŕtaní až k magme s teplotami 600 - 1 300 °C do hĺbky 15 km. Webová stránka [www.magma-power.com](http://www.magma-power.com) odhaduje, že teplo z magmy pod USA by pokrylo spotrebu obyvateľstva na 500 až 5 000 rokov, a že je možné ho ekonomicky ťažiť.
  - *Geotermálny vykurovací systém v Southampton.* [www.southampton.gov.uk](http://www.southampton.gov.uk).



Obrázok 16.6 Geotermálna energia.



## 17 Verejné služby

*Každá vyrobená zbraň, každá na vodu spustená vojnová loď, každá vypálená raketa v konečnom dôsledku predstavuje krádež na tých ľuďoch, ktorí hladujú bez možnosti najesť sa a zimujú bez možnosti obliecť sa.*

*Tento ozbrojený svet však nemíňa iba peniaze. Míňa pot svojich robotníkov, génia svojich vedcov, nádeje svojich detí.*

Prezident Dwight D. Eisenhower – Apríl, 1953



### Energetické náklady „obrany“

Podme vypočítať, koľko energie spotrebuje naša armáda.

V rokoch 2007 - 2008 bol podiel výdavkov britskej vlády na armádu 33 miliárd libier/587 miliárd libier = 6%. Ak započítame aj výdavky na boj proti terorizmu a tajné služby (2,5 miliardy ročne a náklady rastú), celkové výdavky na obranu predstavujú 36 miliárd libier.

Na základe hrubého odhadu môžeme predpokladať, že z týchto 36 miliárd libier sa 6% vynaloží na energiu pri cene 2,7 pencí na kWh. (6% je podiel HDP vynaložený na energiu, 2,7 pence je priemerná cena energie). To zodpovedá približne 80 TWh energie ročne na obranu: výrobu nábojov, bômb, jadrových zbraní a na udržiavanie pripravenosti na ďalší boj dobra proti zlu. V našich obľúbených jednotkách to zodpovedá **4 kWh za deň na osobu**.

### Náklady na jadrovú obranu

Na výrobu a rozmiestnenie jadrových zbraní vynaložili USA v rokoch 1945 až 1996 sumu vo výške 5,5 bilióna dolárov (v hodnote dolárov z roku 1996).

Také výdavky na jadrové zbrane v priebehu tohto obdobia prekročili sumu celkových federálnych výdavkov na vzdelávanie, poľnohospodárstvo, školenia, zamestnanosť a sociálne služby, prírodné zdroje a životné prostredie, vedu, vesmír a technológiu, spoločenský a regionálny rozvoj (vrátane pomoci pri katastrofách), vymáhanie zákonov, výrobu energie a reguláciu.

Ak znovu predpokladáme, že 6% týchto výdavkov pohltila energia pri cene 5 centov na kWh, zistíme, že energetické náklady jadrových zbraní na jedného Američana boli 26 000 kWh alebo **1,4 kWh za deň na jedného Američana** (pri rozdelení medzi 250 miliónov Američanov za 51 rokov).

Aké množstvo energie by získali šťastní príjemcovia, ak by sa použili všetky jadrové zbrane? Množstvo energie najväčších termojadrových zbraní vyrobených v USA a ZSSR sa udáva v megatonách TNT. Jedna tona TNT obsahuje 1 200 kWh. Bomba, ktorá zničila Hirošimu, mala energiu 15 000 ton TNT (18 miliónov kWh). *Megatonová* bomba uvoľní 1,2 miliardy kWh energie. Pri zhodení na mesto s miliónom obyvateľov dostane každý obyvateľ energiu 1 200 kWh, čo sa rovná 120 litrom benzínu. Celková energia jadrového

arzenálu USA je dnes 2 400 megaton uložených v 10 000 bojových hlavičkách. Za starých dobrých čias, keď sa obrana brala naozaj vážne, množstvo energie arzenálu zbraní bolo 20 000 megaton. Ak by sa tieto bomby použili, uvoľnili by energiu približne 100 000 kWh na jedného Američana. To sa rovná množstvu 7 kWh za deň na osobu počas 40 rokov, čo zodpovedá elektrickému výkonu atómových elektrární v Amerike.

### Energetické náklady na výrobu jadrového materiálu pre bomby

Hlavným jadrovým materiálom je plutónium, ktorého sa v USA vyrobilo 104 t a vysokoobohatený urán (HEU), ktorého sa v USA vyrobilo 994 t. Výroba týchto materiálov vyžaduje energiu.

Najúčinnější továrne na výrobu plutónia spotrebujú 24 000 kWh tepla na výrobu 1 gramu plutónia. Takže priame energetické náklady na výrobu 104 t (1945 - 1996) predstavovali najmenej 2,5 bilióna kWh, teda 0,5 kWh za deň na osobu (pri rozdelení medzi 250 miliónov Američanov).

Hlavné energetické náklady pri výrobe HEU predstavuje jeho obohacovanie. Energia sa spotrebuje na oddelenie izotopov atómov  $^{235}\text{U}$  a  $^{238}\text{U}$  vyskytujúcich sa v prírodnom uráne, pričom vzniká konečný produkt, ktorý obsahuje viac  $^{235}\text{U}$ . Výroba 994 t obohateného uránu v USA (za obdobie 1945 - 1996) znamenala energetické náklady približne 0,1 kWh za deň na osobu.

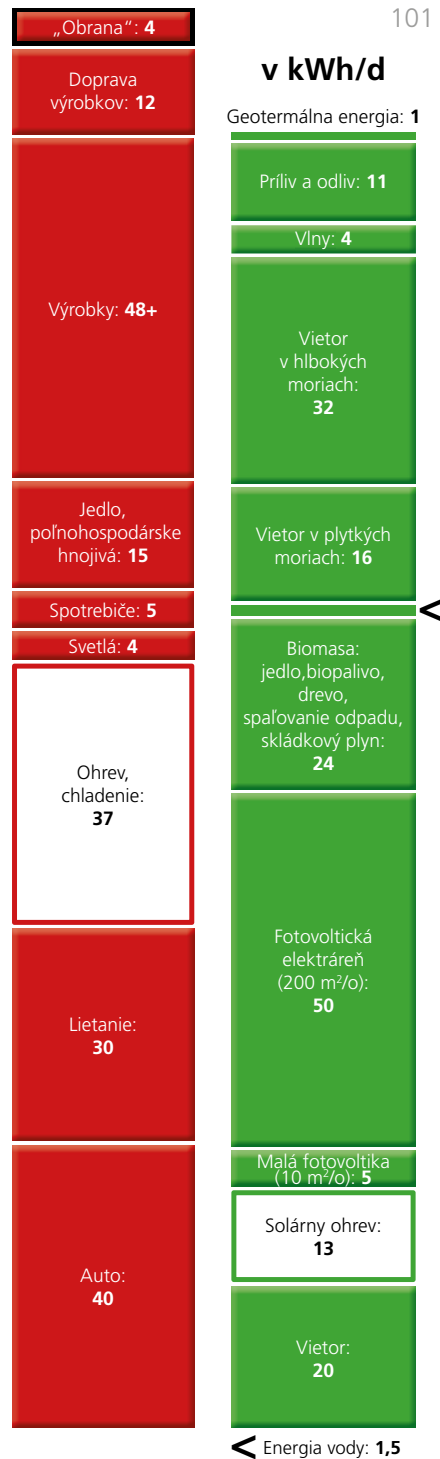
*„Trident<sup>1</sup> vytvára pracovné príležitosti.“ No takisto ako používanie azbestu pri prestavbe škôl to však neznamená, že by sme to mali robiť!*  
Marcus Brigstocke

### Univerzity

Podľa Times Higher Education Supplement (30. marec 2007) univerzity vo Veľkej Británii spotrebujú 5,2 miliardy kWh za rok. Po rozložení na celé obyvateľstvo to znamená **0,24 kWh za deň na osobu**.

Takže vyššie vzdelávanie a výskum majú oveľa nižšie energetické náklady ako obranné vojnové hry.

Pravdepodobne existujú iné energeticky náročné verejné služby, o ktorých by sme mohli hovoriť, ale v tejto chvíli by som skončil súperenie medzi červeným a zeleným stĺpcom.



Obrázok 17.1 Energetické náklady obrany vo Veľkej Británii sa odhadujú na približne 4 kWh za deň na osobu.

<sup>1</sup>Trident je balistická raketa nesúca jadrové hlavice. Sú nimi vybavené americké a britské jadrové ponorky – pozn. prekl.



## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

**100 energetický rozpočet armády.** Rozpočet armády Veľkej Británie možno nájsť na [yttg7p]; obrana dostane 33,4 miliardy libier [fcqfw] a rozvedka a boj proti terorizmu 2,5 miliardy libier na rok [2e4fcs]. Podľa strany 14 vládnych plánov výdavkov na roky 2007/08 [33x5kc] je „celkový rozpočet“ ministerstva obrany väčší, 39 miliárd libier, z ktorých je 33,5 miliardy určených na „zabezpečovanie obranyschopnosti“ a 6 miliárd libier je určených na platy ozbrojených síl a na dôchodky a vojnové dôchodky. Rozbor rozpočtu možno nájsť na: [35ab2c]. Pozri tiež [yg5fsj], [yfgjna] a [www.conscienceonline.org.uk](http://www.conscienceonline.org.uk).

Rozpočet spotreby energie armády USA je zverejnený: „Ministerstvo obrany je najväčším spotrebiteľom energie v Spojených štátoch. V roku 2006 minulo 13,6 miliardy dolárov na nákup 110 miliónov barelov ropného paliva [zhruba 190 miliárd kWh] a 3,8 miliardy kWh elektriny“ (Ministerstvo obrany, 2008). Tento údaj opisuje priamu spotrebu paliva a elektriny a nezahŕňa zabudovanú energiu pripadajúcu na vybavenie armády. Po rozdelení medzi amerických 300 miliónov obyvateľov to znamená **1,7 kWh/d na osobu**.

- **Na výrobu a rozmiestnenie jadrových zbraní vynaložili USA v rokoch 1945 až 1996 5,5 bilióna dolárov (v hodnote dolárov z roku 1996).** Zdroj: Schwartz (1998).

**101 Energetické náklady výroby plutónia.** [slbae].

- **Výroba 994 t obohateného uránu v USA.** Materiál obohatený na 4 % až 5 %  $^{235}\text{U}$  sa nazýva nízko obohatený urán (LEU). 90 % obohatený urán sa nazýva vysoko obohatený urán (HEU). Na obohatenie uránu z prírodného stavu na 5 % LEU je potrebné trojnásobné množstvo práce, ako je množstvo práce potrebnej na obohatenie LEU na 90 % HEU. Jadrový priemysel meria tieto energetické požiadavky v jednotkách nazývaných jednotka separačnej práce (SWU). Na výrobu 1 kg  $^{235}\text{U}$  ako HEU treba 232 SWU. Na výrobu 1 kg  $^{235}\text{U}$  ako LEU (v 22,7 kg LEU) treba približne 151 SWU. V oboch prípadoch sa začína s prírodným uránom (0,71 %  $^{235}\text{U}$ ) a ako odpad vzniká ochudobnený urán obsahujúci 0,25 %  $^{235}\text{U}$ .

SWU na komerčnom trhu s jadrovým palivom má hodnotu asi 100 dolárov. Na ročný pohon typického 1 000 MW komerčného jadrového reaktora je potrebných asi 100 000 SWU obohateného uránu. Dnes existujú dve metódy obohacovania uránu na trhu: plynová difúzia a plynová centrifugácia. Proces plynovej difúzie spotrebuje približne 2 500 kWh na SWU, zatiaľ čo elektrárne na moderné plynové odstreďovanie spotrebujú iba 50 kWh na SWU. [yh45h8], [t2948], [2ywzee]. Moderná centrifúga vyrába približne 3 SWU za rok.

Výroba 994 ton vysoko obohateného uránu v USA (za obdobie 1945 - 1996) stála 230 miliónov SWU, čo znamená 0,1 kWh/d na osobu (pri predpoklade 250 miliónov Američanov a spotrebe difúzneho obohacovania 2 500 kWh/SWU).



## 18 Dokážeme žiť z obnoviteľných zdrojov?

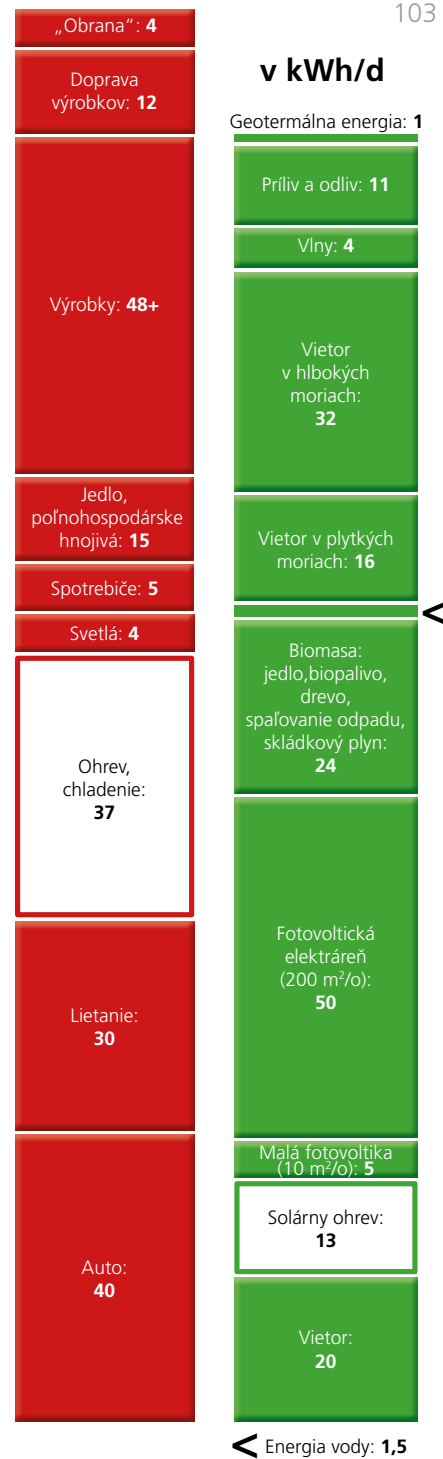
Červený stĺpec na obrázku 18.1 sa vyšplhal na hodnotu **195 kWh za deň na osobu**. Zelený stĺpec sa vyšplhal na hodnotu **180 kWh/d na osobu**. Tesne! Majte však na pamäti, prosím, že pri počítaní produkcie sme nebrali do úvahy ekonomické, sociálne a environmentálne limity na získavanie výkonu z vetra. Podobne niektoré z našich zelených príspevkov sú celkom určite navzájom nezlučiteľné: naše fotovoltaické panely a solárne tepelné kolektory by sa spolu na strechu nezmestili; a naše solárne fotovoltaické elektrárne na ploche 5 % krajiny môžu súperiť s energetickými plodinami, ktoré pokrývajú 75 % krajiny. Ak by sme prišli čo len o jeden z významnejších zelených príspevkov – napríklad, ak by sme sa rozhodli, že veterné turbíny na mori pri pobreží nie sú riešením, či pokrytie 5 % krajiny fotovoltaickými elektrárnami pri cene 200 000 libier na osobu nie je možné – potom by stĺpec produkcie nestačil na stĺpec spotreby.

Dokonca, ak by bol náš červený stĺpec spotreby nižší ako zelený stĺpec produkcie, neznamenalo by to nevyhnutne, že by to bolo dostatočné. Napríklad nemôžete poháňať televíziu potravou pre mačku a rovnako tak nedokážete nakrmiť mačku z veternej turbíny. Energia existuje v rôznych formách – napríklad chemickej, elektrickej, kinetickej či tepelnej. Na zmysluplný trvalo udržateľný energetický plán potrebujeme, aby jednotlivé formy a množstvá energie vo výrobe a spotrebe navzájom súhlasili. Premena energie z jednej formy na druhú – z chemickej na elektrickú, ako v prípade elektrárne na fosílna palivá, alebo z elektrickej na chemickú, ako pri výrobe vodíka z vody, obvykle znamená významné straty využiteľnej energie. K tomuto dôležitému detailu sa vrátíme v kapitole 27, ktorá opisuje niektoré plány, ktoré by mohli fungovať.

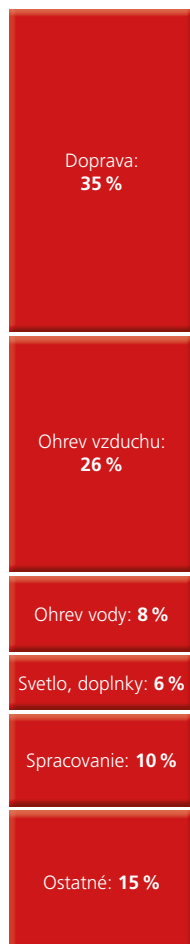
Tu sa venujeme zhodnoteniu výpočtov spotreby a produkcie, porovnáme ich s oficiálnymi údajmi a odhadmi iných ľudí a budeme diskutovať, koľko príkonu je možné vierohodne získať z obnoviteľných zdrojov energie v krajine, ako je Veľká Británia.

Otázky, ktorým sa v tejto kapitole budem venovať, sú tieto:

1. Je veľkosť červeného stĺpca zhruba správna? Aká je *priemerná* spotreba vo Veľkej Británii? Pozrieme sa na oficiálne čísla spotreby energie Veľkej Británie a niektorých iných krajín.
2. Bol som voči obnoviteľným zdrojom energie nespravodlivý a podhodnotil som ich potenciál? Porovnáme výpočty v zelenom stĺpci s výpočtami, ktoré publikovali organizácie, ako sú Komisia pre trvalo udržateľný rozvoj (Sustainable Development Commission), Inštitút elektrických inžinierov (Institution of Electrical Engineers) a Centrum pre alternatívne technológie (Centre for Alternative Technology).
3. Čo sa stane so zeleným stĺpcom, ak zoberiem do úvahy sociálne a ekonomické faktory?



Obrázok 18.1 Stav hry potom, čo sme pridali všetky tradičné zdroje obnoviteľných zdrojov energie.



Obrázok 18.2 Spotreba energie, rozložená podľa koncovej spotreby, podľa ministerstva obchodu a priemyslu.

## Úvahy nad spotrebou

Náš odhad spotreby typického majetného človeka (obr. 18.1) dosiahol **195 kWh za deň**. Je naozaj pravda, že mnoho ľudí takúto spotrebu dosahuje a mnoho ďalších sa o takúto spotrebu usiluje. Priemerný Američan spotrebuje približne **250 kWh za deň**. Ak by sme všetci zdvihli našu štandardnú spotrebu na úroveň priemerného Američana, zelený stĺpec produkcie by bol oveľa menší ako červený stĺpec spotreby.

A čo priemerný Európan a priemerný Brit? Európan priemerne spotrebuje približne **125 kWh za deň na osobu** „primárnej energie“ (čo predstavuje chemickú energiu systému palív a kyslíka a elektrinu vetra a vody). Priemerná spotreba vo Veľkej Británii je tiež **125 kWh za deň na osobu**.

Tieto oficiálne priemery nezahŕňajú dva energetické toky. Po prvé, „zabudovaná energia“ dovezeného tovaru (energia potrebná na výrobu tovaru) nie je vôbec zahrnutá. V kapitole 15 sme vypočítali, že tá predstavuje najmenej 40 kWh/d na osobu. Po druhé, oficiálne údaje „spotreby primárnej energie“, zahŕňajú iba priemyselné toky energie – ako fosílna palivá a elektrinu z vody, ale nesledujú prirodzenú viazanú energiu jedla: energiu, ktorú pôvodne zabezpečila fotosyntéza.

Ďalší rozdiel medzi červeným stĺpcom spotreby, ktorý sme dali dokopy, a národnými údajmi je, že vo väčšine kapitol týkajúcich sa spotreby sme mali tendenciu zanedbávať energetické straty pri premenách jednej formy energie na inú a pri preprave energie. Napríklad výpočet pre „auto“ v I. časti zahŕňal iba energiu benzínu, a nie energiu spotrebovanú v ropnej rafinérii, kde sa benzín vyrába, či energiu, ktorú treba na prepravu ropy a benzínu z miesta A na miesto B [alebo energiu potrebnú na ťažbu ropy – pozn. prekl.]. Národný údaj celkovej spotreby započítava všetku energiu, ešte pred týmito konverznými stratami. Konverzné straty v skutočnosti zodpovedajú približne za 22 % celkovej spotreby energie. Väčšina týchto konverzných strát sa odohráva v elektrárnach. Straty v elektrickej rozvodnej sieti zodpovedajú 1 % celkovej spotreby energie.

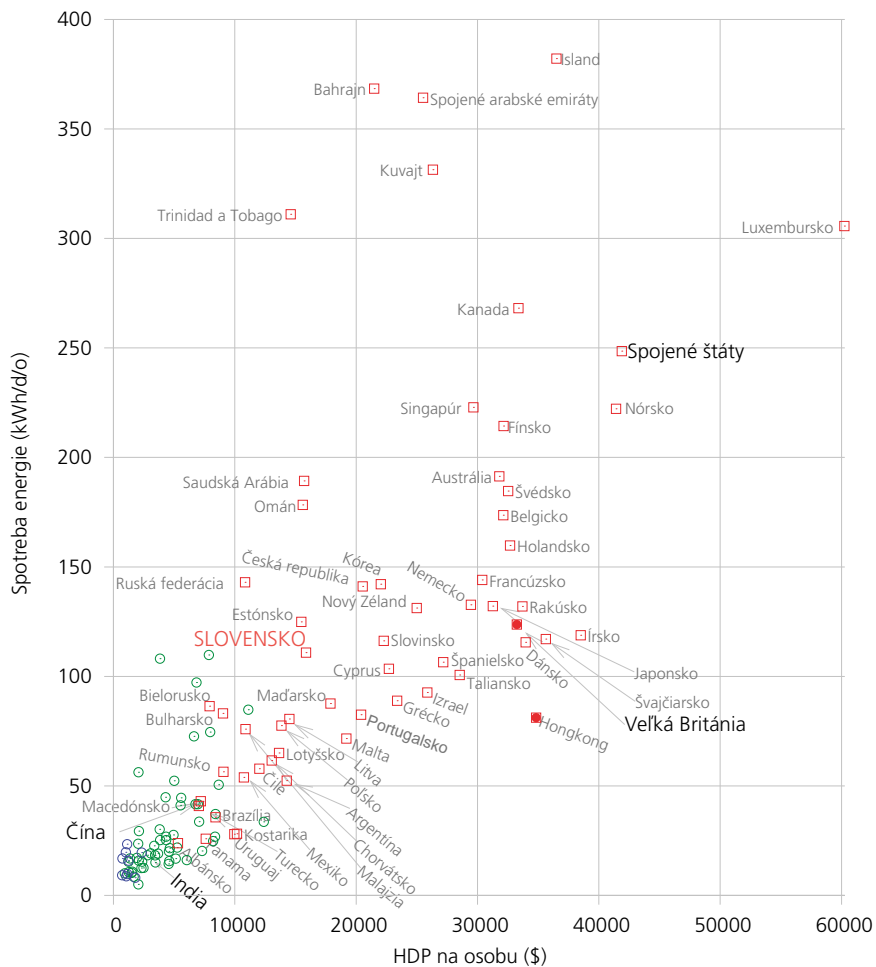
Pri vytváraní červeného stĺpca sme sa snažili predstaviť si, koľko energie spotrebuje typicky bohatý spotrebiteľ. Oplynil takýto prístup naše hodnotenie relatívneho významu jednotlivých aktivít? Porovnajme naše údaje s oficiálnymi. Obrázok 18.2 ukazuje rozbor konečnej spotreby energie. Prvé dve kategórie sú doprava a ohrev (teplý vzduch a teplá voda). Tieto dve kategórie sú takisto dominovali v červenom stĺpci v I. časti. Dobré.

Tabuľka 18.3 Rozbor spotreby energie v roku 2006 podľa spôsobu dopravy, v kWh/d na osobu.

Zdroj: Ministerstvo dopravy Veľkej Británie (2007).

Cestná doprava	Ropa	22,5
Železnice	Ropa	0,4
Vodná doprava	Ropa	1,0
Letecká doprava	Ropa	7,4
Všetka doprava	Elektrina	0,4
Všetka energia na dopravu		31,6





Obrázok 18.4 Príkon na osobu v porovnaní s HDP na osobu, v amerických dolároch v parite kúpnej sily. Štvorce znázorňujú krajiny s „vysokým indexom ľudského rozvoja;“ kruhy „stredný“ alebo „nízky“ index. Obrázok 30.1 (str. 231) ukazuje tie isté údaje na logaritmickú škálu.

Pozrime sa bližšie na dopravu. V našom červenom stĺpci sme zistili, že energetická stopa jazdenia v aute na vzdialenosť 50 km denne a let do Kapuského Mesta raz za rok je približne rovnaká. Tabuľka 18.3 ukazuje relatívny význam rozdielnych spôsobov dopravy v národnej bilancii. Podľa národného priemeru tvorí letecká doprava menší podiel ako cestná doprava.

Aké sú oficiálne údaje o spotrebe energie vo Veľkej Británii v porovnaní s inými krajinami? Obrázok 18.4 znázorňuje využívaný príkon mnohých krajín a regiónov v porovnaní s ich hrubým domácim produktom (HDP). Existuje zjavná súvislosť medzi príkonom a HDP: čím vyšší HDP (na osobu), tým viac premenenej energie na osobu. Veľká Británia je typickou krajinou s vysokým HDP, v spoločnosti Nemecka, Francúzska, Japonska, Rakúska, Írska, Švajčiarska a Dánska. Jedinou významnou výnimkou z pravidla „vysoký HDP znamená vysokú spotrebu“ je Hongkong. HDP na osobu je v Hongkongu približne rovnaký ako vo Veľkej Británii, ale spotreba energie je tu približne **80 kWh za deň na osobu**.

Obrázok 18.5 Hongkong. Fotografia: Samuel Louie a Carol Spears.

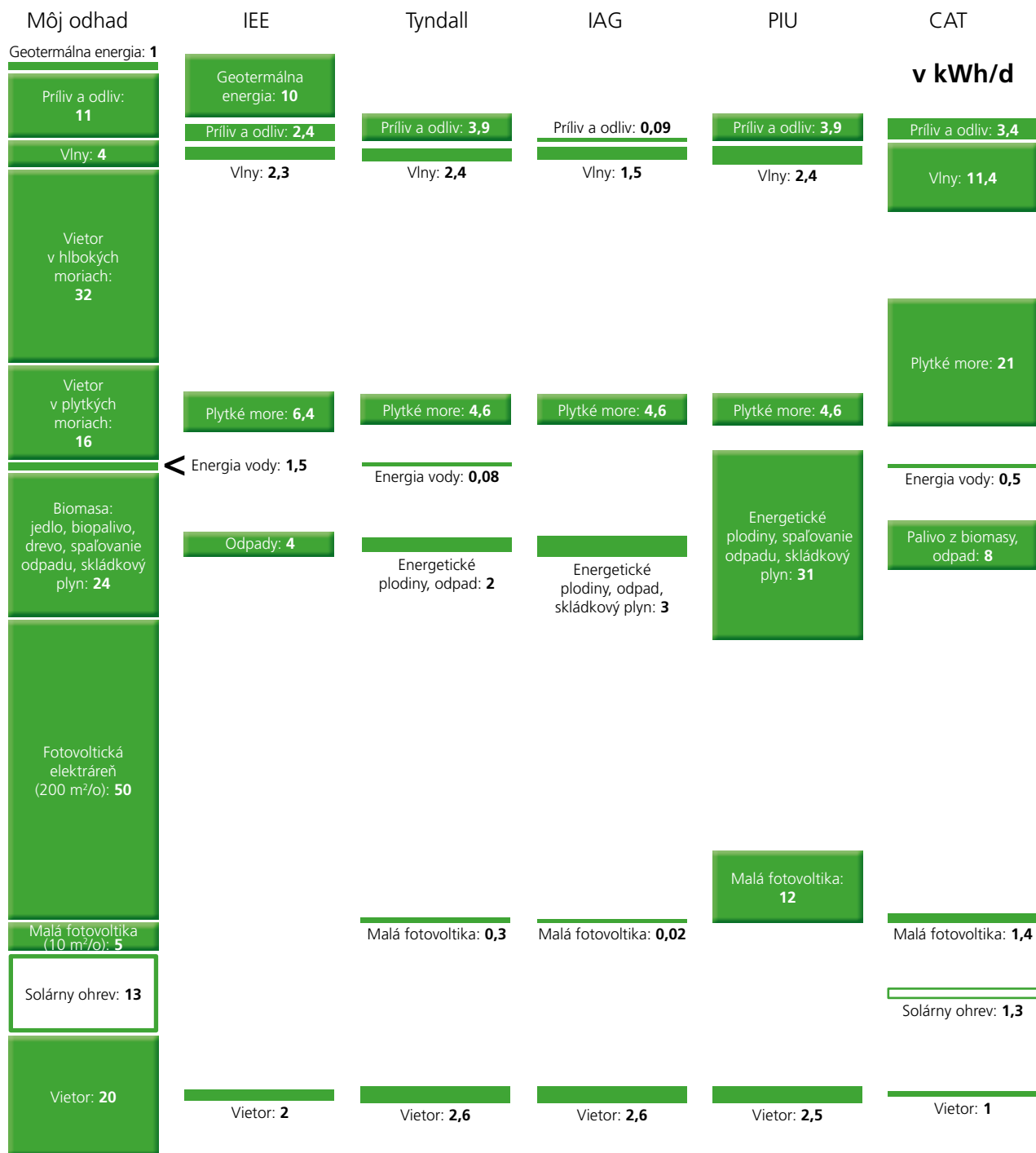


Pre mňa z týchto údajov a porovnaní vyplýva, že Veľká Británia patrí medzi typické európske krajiny, a preto ponúka dobrý príklad na zodpovedanie otázky: Ako môže krajina s vysokou kvalitou života získať energiu trvalo udržateľným spôsobom?

### Úvahy nad výrobou

Ľudia často hovoria, že Veľká Británia má množstvo obnoviteľných zdrojov energie. Bol som príliš tvrdý na zelený slápec? Sú moje čísla iba hromadou nezmyslov? Podhodnotil som možnosti obnoviteľných zdrojov? Porovnajme moje zelené údaje s niekoľkými výpočtami podľa štúdie Komisie pre trvalo udržateľný rozvoj *Úloha jadrovej energie v nízkouhlíkovej ekonomii. Znižovanie emisií CO<sub>2</sub> – jadro a alternatívy*. Dokonca aj keď Komisia pre trvalo udržateľný rozvoj pristupuje k obnoviteľným zdrojom pozitívne („Máme obrovské množstvo zdrojov z vln, prílivu a odlivu, biomasy a Slnka“), *všetky odhady Komisie pre trvalo udržateľný rozvoj sú nižšie ako moje!* (Aby som bol presný, všetky odhady celkového potenciálu všetkých obnoviteľných zdrojov sú nižšie ako moje.) Publikácia Komisie pre trvalo udržateľný rozvoj uvádza odhady štyroch zdrojov uvedených nižšie (IEE, Tyndall, IAG a PIU). Obrázok 18.6 ukazuje moje odhady spolu s číslami týchto štyroch zdrojov a tiež čísla Centra pre alternatívne technológie (CAT). Tu je opis každého zdroja.

**IEE** Inštitút elektrických inžinierov zverejnil správu o obnoviteľnej energii v roku 2002 – súhrn možných príspevkov obnoviteľných zdrojov vo Veľkej Británii. Druhý stĺpec na obrázku 18.6 ukazuje „technický potenciál“ rozličných obnoviteľných technológií na výrobu elektriny – „hornú hranicu, ktorá pravdepodobne nebude prekonaná dokonca ani s pomerne dramatickými zmenami v štruktúre našej spoločnosti a hospodárstva“. Podľa IEE je celkový technický potenciál obnoviteľných zdrojov približne 27 kWh za deň na osobu.



Obrázok 18.6 Teoretické a praktické výpočty obnoviteľných zdrojov vo Veľkej Británii podľa Inštitútu elektrotechnických inžinierov (IEE), Tyndallovho centra, Medziodborovej analytickej skupiny (IAG) a Spolku pre výkon a inovácie (PIU); výpočty plánu „Ostrov Británia“ na rok 2027 podľa Centra pre alternatívne technológie.

- Tyndall** Tyndalovo centrum odhaduje celkové využiteľné množstvo obnoviteľných zdrojov energie na 15 kWh za deň na osobu.
- IAG** Odhady Medziodborovej analytickej skupiny zahŕňajú aj ekonomické obmedzenia obnoviteľných zdrojov. Ich celkové praktické a ekonomické zdroje (pri maloobchodnej cene 7 pencí/kWh) sú 12 kWh za deň na osobu.
- PIU** Stĺpec Spolku pre výkon a inovácie ukazuje „indikatívny potenciál možností výroby elektriny z obnoviteľných zdrojov energie“ z príspevku DTI k prehľadu PIU v roku 2001. Pre každú technológiu ukazujem ich „praktické maximum“, alebo, ak neudávali praktické maximum, tak ich „teoretické maximum“.
- CAT** Posledný stĺpec ukazuje čísla z Centra pre alternatívne technológie a ich plán „Ostrov Británia“ podľa Helweg-Larsena a Bulla (2007).

### *Európa na biopohon*

Niekedy sa ma ľudia pýtajú: Naozaj sme pred priemyselnou revolúciou žili iba z obnoviteľných zdrojov? Áno, ale nesmieme zabúdať na dve veci: životný štýl a hustotu obyvateľstva.

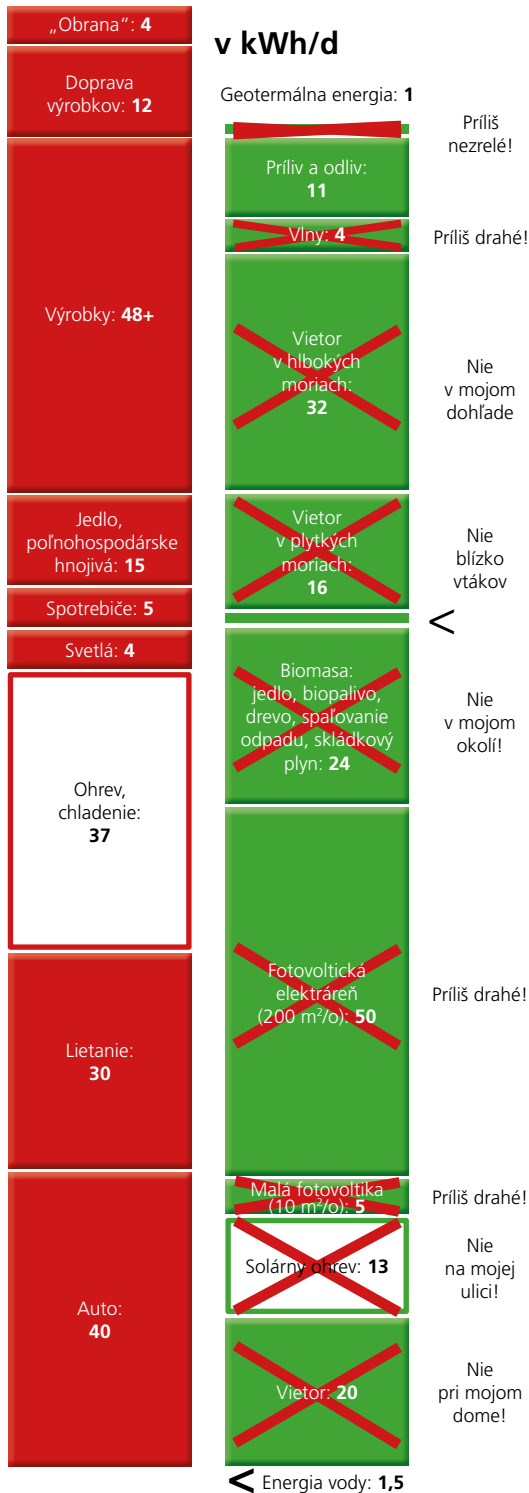
Ak sa vrátíme v čase o 400 rokov späť, Európania žili takmer výhradne z obnoviteľných trvalo udržateľných zdrojov: najmä z dreva a plodín, za pomoci malého množstva energie vetra, vody a prílivu. Podľa odhadov bol priemerný príkon na osobu 20 kWh za deň. Množstvo spotrebovaného dreva bolo 4 kg za deň, čo vyžadovalo 1 hektár (10 000 m<sup>2</sup>) lesa na osobu. Plocha na osobu v Európe v 17. storočí bola 52 000 m<sup>2</sup>. V oblastiach s najvyššou hustotou obyvateľov to bolo 17 500 m<sup>2</sup> poľnohospodárskej pôdy, pastvín a lesov. Dnes pripadá na jedného Brita asi 4 000 m<sup>2</sup>, takže aj v prípade, že by sme sa vrátili k životu v stredoveku a úplne zalesnili krajinu, nemohli by sme žiť trvalo udržateľne. Hustota obyvateľstva je príliš vysoká.

### **Zelené ambície narážajú na spoločenskú realitu**

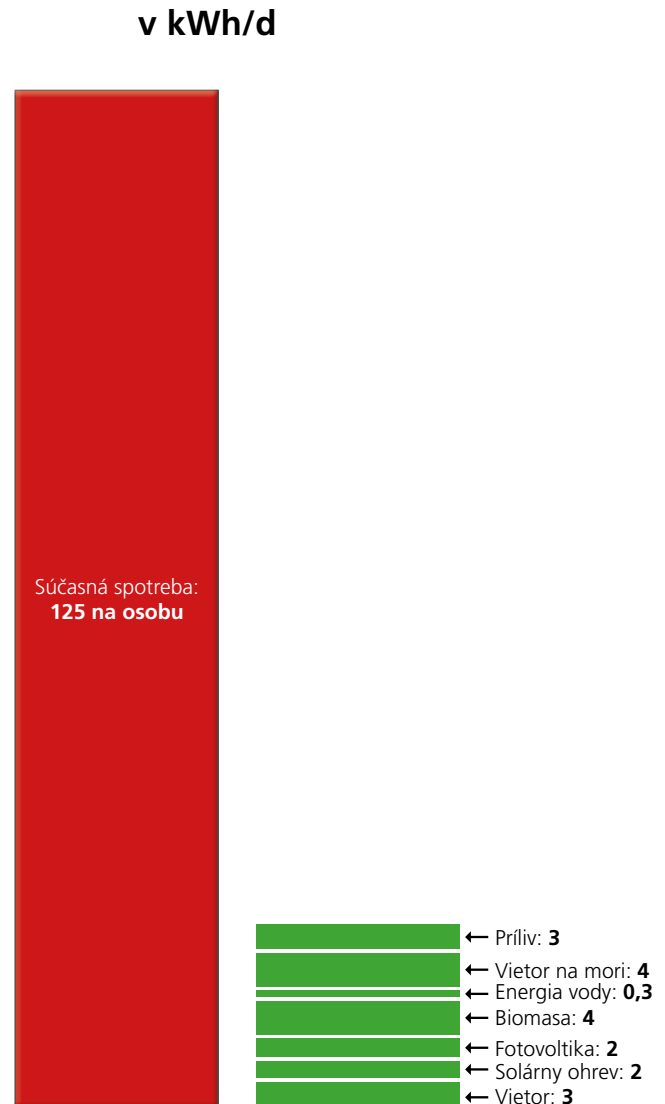
Obrázok 18.1 je zlá správa. Áno, z technického hľadiska má Veľká Británia „obrovské“ možnosti obnoviteľných zdrojov. Ale v skutočnosti si nemyslím, že z nich dokáže žiť – aspoň nie takým spôsobom, akým žijeme dnes. K tomuto záveru ma čiastočne núti zástup odporcov, na ktorý naráža akýkoľvek väčší energetický projekt z obnoviteľných zdrojov. Ľudia milujú obnoviteľné zdroje energie, ak však nie sú väčšie ako figový list. Ak sú Briti v niečom dobrí, tak je to schopnosť povedať „nie“.

Veterné turbíny?  
„Nie, sú veľké a hlučné.“

Solárne panely na strechách?  
„Nie, pokazili by vizuálny dojem ulice.“

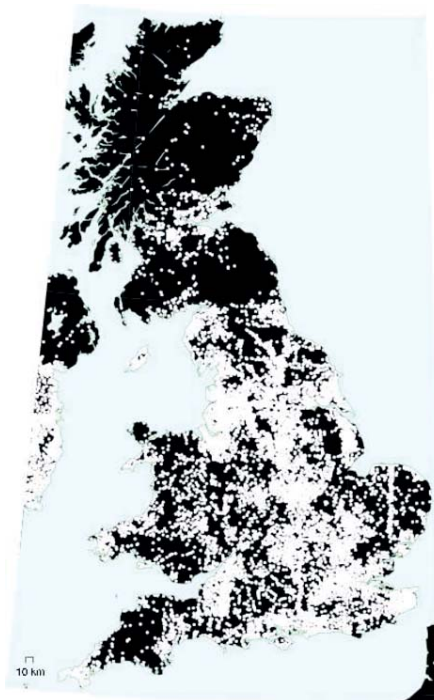


Obrázok 18.7 Výsledok príspevku obnoviteľných zdrojov energie, a potom nasleduje konzultácia s verejnosťou.



Po konzultácii s verejnosťou. Obávam sa, že maximum, aké Veľká Británia dokáže získať z obnoviteľných zdrojov, je približne 18 kWh/d na osobu. (Mimochodom, stĺpec naľavo, 125 kWh/d na osobu, je priemerná spotreba Britov bez započítania dovozu a energie zo Slnka získanej rastlinami na výrobu jedla).

Obrázok 18.8 Kde je divočina a civilizácia. Jedna z výhrad proti veterným parkom je ich hluk. Vyrobil som túto mapu Veľkej Británie, na ktorej každé sídlo, dedinu aj mesto obklopuje kruh s priemerom 2 km. Na bielych miestach by teda nebolo možné stavať veterné parky. Pravdepodobne by to nebolo možné ani na čiernych územiach, pretože tieto tiché miesta potrebujú byť chránené pred priemyselnou činnosťou. Údaje o osídlení sú z: [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org).



Viac lesov?

„Nie, ničia výhľad na krajinu.“

Spaľovňa odpadov?

„Nie, obávam sa o zdravie, dopravné zápchy, prach a hluk.“

Vodné elektrárne?

„Áno, ale nie veľké elektrárne – to poškodzuje životné prostredie.“

Veterné turbíny na mori?

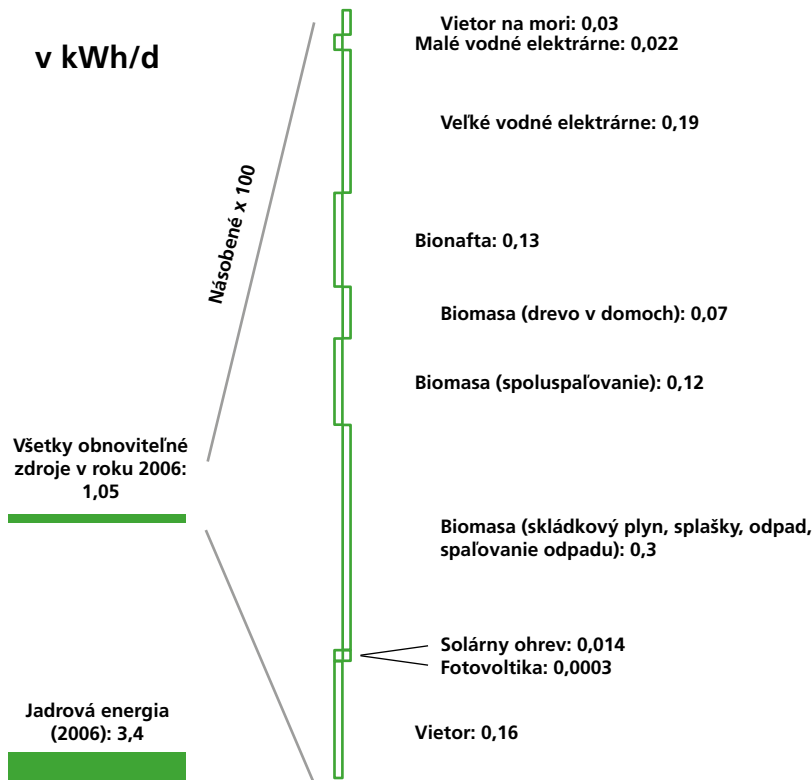
„Nie, viac sa obávam káblov na pobreží, ako som sa bál invázie nacistov.“

Geotermálne teplo alebo vlny?

„Nie, príliš drahé.“

Po všetkých týchto výhradách sa obávam, že maximálne množstvo získanej obnoviteľnej energie by bolo na úrovni, ako je zobrazené vpravo dole na obrázku 18.7.

Obrázok 18.8 ponúka návod pre každého, kto by sa snažil vztýčiť veternú turbínu vo Veľkej Británii. Na mape som znázornil kruhy s priemerom 2 km, ktoré obklopujú každé sídlo, dedinu a mesto. Tieto biele oblasti by mali byť od budovania turbín oslobodené, pretože sú príliš blízko obydlí. Čierne miesta sú všetky lokality vo vzdialenosti *viac ako 2 km* od akéhokoľvek ľudského osídlenia. Budovať turbíny v týchto oblastiach tiež nie je možné, pretože sú *tiché*, a tieto oblasti je potrebné chrániť pred spriemyselním. Ak sa chcete



Obrázok 18.9 Priemerný výkon obnoviteľných a jadrových zdrojov vo Veľkej Británii v roku 2006. Všetky výkony sú vyjadrené na osobu ako obvykle. Rozbor obnoviteľných zdrojov energie na pravej strane je násobený stokrát vo vertikálnom smere.

vyhnúť problémom s veterným parkom, zvolíte si akékoľvek miesto okrem bielej a čiernej.

*Niektorí z týchto environmentalistov s dobrým srdcom, ale pomýleným uvažovaním, predstavujú určitú prekážku pri riešení klimatickej zmeny.*  
Malcolm Wicks, štátny tajomník pre energetiku

Blížime sa k záveru I. časti. Predpokladom bolo, že sa chceme zbaviť závislosti od fosílnych zdrojov energie pre jednu alebo viacero príčin uvedených v kapitole 1: klimatickú zmenu, bezpečnosť dodávok a tak ďalej. Obrázok 18.9 ukazuje, koľko energie v súčasnosti získavame z obnoviteľných zdrojov a z jadra. Zodpovedajú iba 4 % našej celkovej spotreby.

Dva závery, ktoré je možné z I. časti urobiť, sú:

1. *Aby sme niečo zmenili, zariadenia na získavanie energie z obnoviteľných zdrojov by museli pokrývať celú krajinu.*

Akékoľvek zariadenie, ktoré vyrába energiu z obnoviteľných zdrojov a ktoré by malo významne prispieť k súčasnej spotrebe, *musí mať* obrovskú rozlohu. Aby sme získali významný podiel energie z vetra, potrebujeme veterné parky s rozlohou Walesu. Aby sme získali

---

VÝKON NA JEDNOTKOVÚ  
ROZLOHU KRAJINY ALEBO VODY

---

Vietor	2 W/m <sup>2</sup>
Vietor na mori pri pobreží	3 W/m <sup>2</sup>
Prílivové akumuláčn elektrárne	3 W/m <sup>2</sup>
Prílivové prietokov elektrárne	6 W/m <sup>2</sup>
FV panely	5 - 20 W/m <sup>2</sup>
Rastliny	0,5 W/m <sup>2</sup>
Dažďová voda (vysočiny)	0,24 W/m <sup>2</sup>
Vodná elektrárň	0,11 W/m <sup>2</sup>
Geotermálna energia	0,017 W/m <sup>2</sup>

---

Tabuľka 18.10 Zariadenia pre obnoviteľné zdroje by museli mať rozmery krajiny, pretože všetky obnoviteľné zdroje sú difúzne – majú nízku koncentráciu výkonu.

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

- 104 *Priemerná spotreba vo Veľkej Británii je 125 kWh za deň na osobu.* Toto číslo som prevzal zo Správy o ľudskom rozvoji UNDP, 2007. (Human Development Report, United Nations Development Program) [Rozvojový program spojených národov – pozn. prekl.]. DTI (teraz známe ako DBERR) [DTI – Department of Trade and Industry – ministerstvo obchodu a priemyslu; DBERR – Department for Business, Enterprise and Regulatory Reform – ministerstvo obchodu, podnikania a regulačných reforiem – pozn. prekl.] zverejňuje Prehľad energetických štatistík Veľkej Británie (DUKES) každý rok [uzek2]. Podľa DUKES bola v roku 2006 spotreba primárnej energie 244 miliónov ton ropného ekvivalentu, čo zodpovedá 130 kWh za deň na osobu. Nevie, aká je príčina tohto malého rozdielu čísel od UNDP a DUKES, môžem však vysvetliť, prečo som zvolil nižšie číslo. Ako som spomenul na strane 27, DUKES používa rovnaký spôsob sčítavania energie ako ja, podľa ktorého sa jedna kWh chemickej energie rovná jednej kWh elektrickej práce. Existuje jedna malá výnimka: DUKES definuje „primárnu energiu“ uvoľnenú v jadrových elektrárnach ako tepelný výkon, ktorý bol v roku 2006 9 kWh/d/o a bol premenený (s 38% účinnosťou) na 3,4 kWh/d/o elektrického príkonu do siete. V mojich výpočtoch som sa zameral iba na elektrinu vyrobenú z vody, iných obnoviteľných zdrojov a jadra. Tento malý posun vo výpočtoch znížil príspevok jadra asi o 5 kWh/d/o.
- *Straty v rozvodnej elektrickej sieti zodpovedajú 1 % celkovej spotreby energie.* Inými slovami, tieto straty predstavujú 8 % z vyrobenej elektriny. Týchto 8 % môžeme rozložiť nasledovne: 1,5 % sa stratí vo vysokonapäťových prenosových systémoch na dlhé vzdialenosti a 6 % sa stratí v miestnej distribučnej sieti. Zdroj: MacLeay a kol. (2007).
- 105 *Obrázok 18.4.* Údaje zo Správy o ľudskom rozvoji Rozvojového programu Spojených národov (UNDP), 2007. [3av4s9]
- 108 *V stredoveku bol priemerný príkon na osobu 20 kWh za deň.* Zdroj: Malanima (2006).
- 110 *„Viac sa obávam káblov na pobreží, ako som sa bál invázie nacistov.“* Zdroj: [6frj55].

významný príspevok fotovoltiky, potrebujeme polovicu Walesu. Aby sme získali významný príspevok energie z vln, musíme pokryť 500 km pobrežia. Aby nám dostatočný príspevok zabezpečili energetické plodiny, museli by sme pokryť 75 % celej krajiny.

Zariadenia obnoviteľných zdrojov musia byť rozložené na obrovskej ploche, pretože všetky obnoviteľné zdroje sú rozptýlené – majú nízku koncentráciu výkonu. Tabuľka 18.10 sumarizuje množstvo vyrobenej energie na plochu pre väčšinu zdrojov energie, s ktorými sme sa stretli v I. časti.

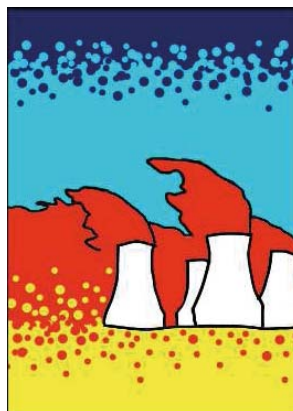
Udržať spotrebu Veľkej Británie pomocou vlastných obnoviteľných zdrojov by bolo veľmi ťažké. Energetické riešenie založené na obnoviteľných zdrojoch bude nevyhnutne rozsiahle a rušivé.

2. *Nebude jednoduché vytvoriť zmysluplný plán iba s pomocou obnoviteľných zdrojov.* Ak máme naozaj záujem zbaviť sa používania fosílnych palív, Briti sa budú musieť v niektorých prípadoch naučiť hovoriť „áno“. V skutočnosti vo viacerých prípadoch.

V II. časti sa opýtam, aké máme iné možnosti na pokrytie súčasnej spotreby, ak to nie je možné zaistiť iba z obnoviteľných zdrojov.



Časť II  
Skutočná zmena





„Chceli sme veternú turbínu, ale tie nie sú veľmi efektívne.“

Obrázok 19.1 Použitie s láskavým dovo-  
lením PRIVATE EYE / Robert Thompson  
www.private-eye.co.uk.

## 19 Každá VEĽKÁ VEC pomáha

Dospeli sme k záveru, že Veľká Británia s jej súčasným životným štýlom si s vlastnými obnoviteľnými zdrojmi nevystačí (ak neberieme do úvahy industrializáciu obrovských oblastí krajiny na súši a na mori). Takže aké sú možnosti, ak sa máme zbaviť závislosti od fosílnych palív a žiť trvalo udržateľne? Energetickú bilanciu môžeme upraviť buď znižovaním spotreby, alebo zvyšovaním získavania, alebo, samozrejme, oboma spôsobmi.

Odložte ilúzie. Aby sme dosiahli náš cieľ, teda zbaviť sa využívania fosílnych palív, znížiť spotrebu a zvýšiť výrobu, zmeny musia byť veľké. Nenechajme sa pritom pomýliť mýtom „každá maličkosť pomáha“. Ak každý urobí málo, spolu dosiahneme iba málo. Musíme urobiť veľa. To, čo potrebujeme, sú veľké zmeny v spotrebe aj vo výrobe.

„Nie je pravda, že ak 60 miliónov ľudí urobí niečo málo, spolu to bude znamenať veľa?“ Nie. Takéto uvažovanie prináša ilúziu, že niečo malé sa iba zdá byť veľkým. Násobenie spôsobom „ak každý“ chrlí povzbudzujúce vyhlásenia typu, „ak by každý urobil X, tak by to zabezpečilo energiu/vodu/plyn na uskutočnenie Y“, pričom Y pôsobí veľkolepo. Je prekvapujúce, že Y sa zdá byť niečím veľkým? Samozrejme, nie. Y sme dostali vynásobením X počtom zainteresovaných ľudí – približne 60 miliónov! Tu je príklad z inak dobrého *Plánu pre zelenú ekonomiku* Konzervatívnej strany:

„Nabíjačka mobilných telefónov spotrebuje v priemere približne... 1 W, ale ak by zostalo zapnutých všetkých 25 miliónov nabíjačiek, spotrebovali by toľko elektriny (219 GWh), že by to stačilo zásobovať 66 000 domov jeden rok.“

66 000? Fíha, naozaj veľa domov. Vypnite nabíjačky! 66 000 sa zdá byť veľa, ale logickejšie je porovnanie s celkovým množstvom domov, ktoré by sa teoreticky zúčastnili na takomto šetrení energie, konkrétne teda 25 miliónov domov. Z 25 miliónov je 66 000 iba *jedna štvrtina percenta*. Takže hoci uvedené tvrdenie je pravdivé, zmyslupľnejšie tvrdenie by mohlo znieť takto:

Ak necháte nabíjačku svojho mobilného telefónu v sieti, spotrebuje *asi jednu štvrtinu percenta* elektriny vo vašej domácnosti.

Ak to tak urobí každý?

Ak každý nechá nabíjačku svojho mobilného telefónu v sieti, tak spolu spotrebujú *jednu štvrtinu percenta* elektriny spotrebovanej v domácnostiach.

Násobenie spôsobom „ak každý“ nie je vhodné, pretože odvádza pozornosť ľudí od 25 miliónov slonov k 25 miliónom mravcom. Zaklínadlo „*Malé zmeny znamenajú veľký rozdiel*“ je nezmysel, ak o ňom uvažujeme v súvislosti s klimatickými zmenami a energiou. Výrok, „ak veľa ľudí urobí niečo

málo, spolu dosiahnu veľa“, môže platiť, iba ak sa všetky „mála“ zameriavajú na jedno „veľa“ – napríklad, ak jeden milión ľudí daruje 10 libier *jednej* obeti nehody, ktorá tak dostane 10 miliónov libier. To je veľa. No energia je úplne odlišná záležitosť. Spotrebujeme ju všetci. Takže na dosiahnutie „skutočnej zmeny“ v celkovej spotrebe energie je potrebné, aby takmer každý urobil „veľkú“ zmenu vo vlastnej spotrebe.

To, čo potrebujeme, sú *veľké* zmeny v dopyte aj vo výrobe. Dopyt po príkone by bolo možné znížiť tromi spôsobmi:

1. znížením počtu obyvateľstva krajiny (obr. 19.2);
2. zmenou životného štýlu;
3. zachovaním životného štýlu pri súčasnom znížení spotreby pomocou „účinnosti“ a „technológií“.

Ponuku by sme mohli zvýšiť tromi spôsobmi:

1. Fosílnych palív by sme sa mohli zbaviť investovaním do technológie „čistého uhlia“. Hop! Uhlie je fosílné palivo. Dobré, nič to – napriek tomu sa pozrime na túto myšlienku. Ak by sme uhlie využívali „trvalo udržateľne“ (čo to znamená, o chvíľku zistíme), koľko energie by sme získali? Ak by sme nebrali ohľad na udržateľnosť a starali sa len o „energetickú bezpečnosť“, dokázalo by ju uhlie zaistiť?
2. Mohli by sme investovať do štiepenia jadra. Je dnešná jadrová technológia „trvalo udržateľná“? Je to aspoň dočasné riešenie na najbližších 100 rokov?
3. Mohli by sme si kúpiť, vyžobrať alebo ukradnúť obnoviteľnú energiu z iných krajín, lenže väčšina krajín na tom bude podobne ako Veľká Británia a nebudú jej mať nazvyš; pričom získavanie obnoviteľnej energie z inej krajiny magicky nezniží množstvo zariadení potrebných na jej výrobu. Ak dovezieme obnoviteľnú energiu z iných krajín, aby sme sa vyhli stavbe zariadení veľkých ako Wales v *našej* krajine, niekto ich bude musieť postaviť s rovnakou rozlohou v inej krajine.

Nasledujúcich sedem kapitol sa najprv venuje spôsobom, ako významne znížiť spotrebu a tiež tomu, ako zvýšiť výrobu na zabezpečenie takto zníženej, ale stále ešte obrovskej spotreby. V nasledujúcich kapitolách neuviedim *všetky* dobré nápady. Budem sa zaoberať len tými *veľkými*.

## Zjednodušený model Veľkej Británie

Na zjednodušenie a upriamenie našej diskusie o znižovaní dopytu navrhujem, aby sme pracovali so zjednodušeným modelom spotreby energie vo Veľkej Británii a vynechali množstvo podrobností, čo nám umožní zamerať sa na celkový obraz.

*Kým ekologickú stopu jednotlivca nemôžeme znížiť na nulu, v prípade jeho neexistencie sa tak stane.*

Chris Rapley, bývalý riaditeľ  
British Antarctic Survey

*Čo potrebujeme, je menej ľudí, nie zelenších.*

Daily Telegraph, 24. júl 2007

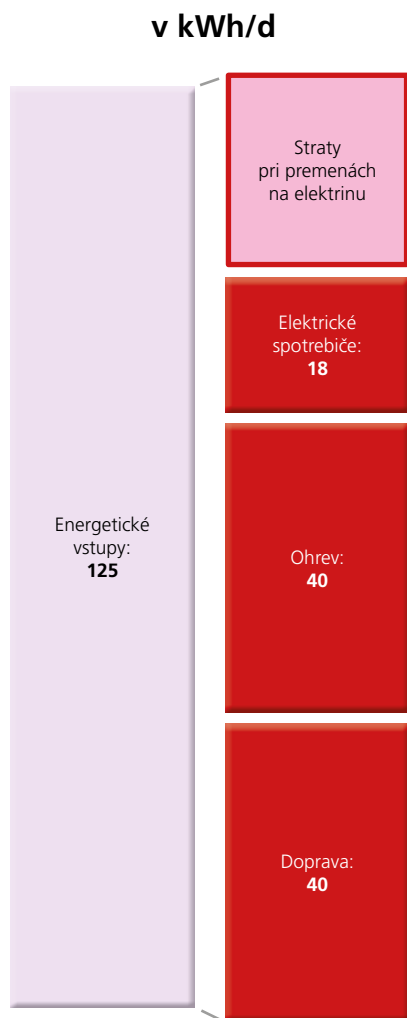
*Demokracia nedokáže prežiť preľudnenie. Ľudská dôstojnosť nedokáže prežiť preľudnenie.*

Isaac Asimov



Obrázok 19.2 Populačný rast a emisie...  
Kreslený obrázok Colina Wheelera

Preklad: „Budeme musieť znížiť vaše emisie.“



Obrázok 19.3 Súčasná spotreba v „modeli Veľkej Británie 2008“.

Môj model Veľkej Británie potrebuje energiu iba na tri účely: na ohrev, v doprave a ako elektrinu. Potreba energie na ohrev predstavuje 40 kWh za deň na osobu (v súčasnosti je všetka pokrytá len z fosílnych palív); potreba v doprave predstavuje tiež 40 kWh za deň na osobu (v súčasnosti len z fosílnych palív) a spotreba elektriny je 18 kWh, pričom v súčasnosti sa vyrába takmer výlučne z fosílnych palív. Účinnosť premeny energie fosílnych palív na elektrinu dosahuje približne 40 %, takže denné zásobovanie 18 kWh elektrickej práce na osobu predstavuje energetický vstup z fosílnych palív až 45 kWh za deň na osobu. Toto zjednodušenie nezahŕňa niektoré dôležité detaily, napríklad poľnohospodárstvo a priemysel, ako aj zabudovanú energiu pripadajúcu na dovážaný tovar! Rád by som však chcel *rýchlo* ukázať hlavné veci, ktoré treba urobiť, ak sa chceme zbaviť závislosti od fosílnych palív. Ohrev, doprava a elektrina zodpovedajú za viac ako polovicu našej celkovej spotreby energie, takže, ak by sme dokázali tieto tri spôsoby spotreby vyriešiť trvalo udržateľne, predstavovalo by to významný prvý krok k prepracovanejšiemu a podrobnejšiemu zmysluplnému plánu.

Ak budeme vychádzať zo zjednodušeného modelu Veľkej Británie, uvažovanie o znižovaní dopytu po energii sa sústreďí iba na tri oblasti. Po prvé, ako by sme mohli znížiť dopyt v doprave a vylúčiť z nej využívanie všetkých fosílnych palív? To je téma kapitoly 20. Po druhé, ako by sme mohli znížiť dopyt po teple a vylúčiť všetko využívanie fosílnych palív na ohrev? Tomu sa venuje kapitola 21. Po tretie, čo s elektrinou? Kapitola 22 rozoberá účinnosť využívania elektrickej práce.

Trom možným zdrojom – čistému uhlíu, jadru a obnoviteľným zdrojom energie z iných štátov – sa venujú kapitoly 23, 24 a 25. Nakoniec, kapitola 26 sa venuje vyrovnaniu sa s výkyvmi v spotrebe elektriny, ako aj s výkyvmi v jej výrobe z obnoviteľných zdrojov.

Po predstavení možností znižujúcich dopyt a zvyšujúcich výrobu, kapitoly 27 a 28 rozoberajú rozličné spôsoby sklbenia týchto možností a predstavujú zmysluplný plán, vhodný na zásobovanie dopravy, ohrevu a elektriny nášho zjednodušeného modelu Veľkej Británie.

Mohol som napísať veľa strán o „50 veciach, ktoré prinesú skutočnú zmenu“, ale myslím, že zameranie na spomínaný model, v ktorom nás zaujímajú tri najväčšie položky, môže viesť k účinnejším opatreniam.

Čo však s „výrobkami“? Podľa časti I by energia pripadajúca na dovezené výrobky predsa mohla predstavovať najväčšiu položku! Áno, možno takú veľkú, ako je povestný mamut v miestnosti. Radšej nechajme oživovanie tejto skameneliny bokom a zamerajme sa na žijúce tvory, nad ktorými máme priamu kontrolu.

Poďme na to: hovorme o doprave, ohreve a elektrine.

## Pre netrpezlivého čitateľa

Neviete sa dočkať, ako sa celý príbeh skončí? Tu je rýchly sumár, letmé načrtnutie časti II.

Po prvé, elektrifikujeme dopravu. Elektrifikácia dopravy zabezpečí nielen zníženie využívania fosílnych palív, ale doprava tiež bude energeticky efektívnejšia (samozrejme, znamená to tiež zvýšený dopyt po „zelenej“ elektrine).

Po druhé, na doplnenie ohrevu solárnymi tepelnými kolektormi elektrifikujeme väčšinu ohrevu vzduchu a vody v budovách s použitím *tepelných čerpadiel*, ktoré sú štvornásobne účinnejšie ako klasické elektrické ohrievače. Takáto elektrifikácia zohrievania ešte viac zvýši potrebu zelenej elektriny.

Po tretie, všetku zelenú elektrinu získame z mixu štyroch zdrojov: z našich vlastných obnoviteľných zdrojov; možno z „čistého uhlia“; možno tiež z jadra; a napokon, s láskavým dovolením, z obnoviteľných zdrojov v iných krajinách.

Čo sa týka poslednej možnosti, teoreticky je možné získať veľké množstvo solárnej elektriny v púštnych oblastiach. Ak budeme schopní rozvinúť pokojnú medzinárodnú spoluprácu, púštne oblasti v iných krajinách nepochybne majú potenciál poskytovať nám, im aj všetkým ostatným, 125 kWh za deň na osobu.

Otázky? Čítajte ďalej.

## 20 Lepšia doprava

*Moderné technológie vo vozidlách dokážu znížiť emisie skleníkových plynov bez zmeny vzhľadu, pohodlia a vlastností, ktoré od vozidiel ich majitelia očakávajú.*

California Air Resources Board



Obrázok 20.1 Začiatok tejto kapitoly: mestská luxusná limuzína. Priemerná spotreba paliva osobného automobilu vo Veľkej Británii je 33 míľ na galón, čo zodpovedá spotrebe energie **80 kWh na 100 km**. Dá sa to aj lepšie?

Približne jednu tretinu energie dávame na dopravu. Môže zabezpečiť zníženie jej spotreby *technológia*? V tejto kapitole sa zameriame na dva ciele: ako zabezpečiť čo najväčšie zníženie spotreby energie v doprave *so súčasným* vy-lúčením používania fosílnych palív.

Téma dopravy sa objavila v troch kapitolách venovaných spotrebe: v kapitole 3 (autá), v kapitole 5 (lietadlá) a v kapitole 15 (cestná a námorná nákladná doprava). Potrebujeme sa teda zaoberať dvomi druhmi dopravy: osobnou a nákladnou. Jednotkou v osobnej doprave je tzv. osobo-kilometer (o-km). Ak auto odvezie osobu na vzdialenosť 100 km, zabezpečí 100 o-km. Ak odvezie na rovnakú vzdialenosť štyroch ľudí, zabezpečí 400 o-km. Podobne v nákladnej doprave je takou jednotkou tonokilometer (t-km). Ak kamión prevezie 5 t nákladu na vzdialenosť 100 km, zabezpečí 500 t-km. Spotrebu energie v osobnej doprave budeme merať v „kWh na 100 osobo-kilometrov“ a v nákladnej doprave v „kWh na tonokilometer“. (Všimnite si, že tieto jednotky predstavujú opačný prístup v porovnaní s „míľami na galón“: kým od vozidiel požadujeme, aby prešli čo *najviac* míľ na galón, v oblasti spotreby, naopak, chceme, aby bolo spotrebovaných čo *najmenej* kWh na 100 o-km.)

Kapitolu začneme možnosťami zníženia spotreby energie v pozemnej doprave. Aby sme pochopili, ako je možné dosiahnuť tento cieľ, najprv musíme vedieť, kde energiu v tejto oblasti spotrebúvame. Tieto tri hlavné koncepty sú podrobnejšie rozpracované v technickej kapitole A.

1. Pri *cestovaní na krátke vzdialenosti* s častým rozbiehaním a spomaľovaním sa väčšina energie spotrebúva na zrýchľovanie vozidla aj s jeho obsahom. Kľúčovou možnosťou na zníženie spotreby je teda *mať nižšiu hmotnosť a prejsť viac medzi zastaveniami*. K riešeniu môže prispieť aj tzv. rekupe-račné brzdenie, ktoré premieňa kinetickú energiu naspäť na využiteľnú energiu. Navyše pomôže aj to, ak sa pohybujeme *pomalšie a menej*.
2. Pri *cestovaní na dlhé vzdialenosti* so stabilnou rýchlosťou autom alebo vlakom slúži väčšina energie na prekonávanie odporu vzduchu, pretože vozidlo zrýchľuje iba raz. Kľúčový spôsob zníženia spotreby pri tomto spôsobe dopravy je *nižšia rýchlosť, kratšia vzdialenosť a používanie dlhých a úzkych vozidiel*.
3. Pri všetkých formách dopravy dochádza k reťazcu premien energie, v ktorom sa spotrebuje energia určitého druhu paliva a jej časť sa využije na pohon vozidla vpred. Tento energetický reťazec má však nevyhnutne nedokonalosti.

Napríklad v klasickom aute s pohonom na fosílné palivo sa na pohyb využije iba 25 % energie, pričom zvyšok, zhruba 75 %, sa stráca do okolia ako teplo a zahrieva motor a chladič. Takže poslednou stratégiou znižovania spotreby energie bude zvýšenie účinnosti v reťazci premien energie.

Na základe uvedeného môžeme účinnosť pozemnej dopravy zvýšiť dodržiavaním šiestich princípov v oblasti návrhu a využitia dopravných prostriedkov: a) znížiť čelnú prierezovú plochu na osobu; b) znížiť hmotnosť vozidla na osobu; c) cestovať rovnomernou rýchlosťou a vyhýbať sa zbytočnému brzdeniu; d) cestovať pomalšie; e) cestovať menej; f) zvýšiť účinnosť reťazca premeny energie. Rozoberieme rôzne spôsoby, ako tieto princípy uplatniť.

### Ako jazdiť lepšie

Podľa jednej často citovanej štatistiky platí, že „len 1 percento energie spotrebovanej v automobile slúži na premiestňovanie vodiča“. Nepochybne vyplýva, že ak by sme boli rozumnejší, dokázali by sme mať autá *stokrát* účinnejšie? Odpoveď je áno, takmer, ale len s uplatnením vyššie spomenutých princípov návrhu a použitia vozidiel v *extrémnej* podobe.

Príkladom extrémneho návrhu je existujúce eko-auto s malou čelnou plochou a nízkou hmotnosťou, ktoré – ak chcete prekonať rekord – musíte riadiť opatrne nízkou a rovnomernou rýchlosťou. Eko-auto Team Crocodile (obr. 20.2) spotrebuje pri rýchlosti 15 míľ za hodinu (24 km/h) 1 galón na 2 184 míľ [t.j. 0,13 l na 100 km - pozn. prekl.], čo zodpovedá **1,3 kWh na 100 km**. Má hmotnosť len 50 kg, je nižšie ako dopravný kužeľ a pohodlne sa doň zmestí šofér vo veku teenagera.

Hmm. Myslím, že vodič mestského luxusného automobilu na obrázku 20.1 by si všimol zmenu vo „vzhľade, pohodlí a vlastnostiach“, ak by sme ho premiestnili do eko-auta a prikázali mu neprekročiť rýchlosť 24 km za hodinu. Myšlienka, že autá by sa mohli stať stokrát energeticky účinnejšie, je mýtus. Skôr ako sa vrátíme k otázke výroby energeticky účinných vozidiel, pozrime sa na ďalšie možnosti smerovania k efektívnejšej pozemnej doprave.

Na obrázku 20.3 je vozidlo pre viacero pasažierov, ktoré je najmenej 25-krát účinnejšie, ako štandardné auto na benzín – tricykel. Tricykel a najmä bicykel je z hľadiska energie na vzdialenosť porovnateľný s eko-autom. Dosahuje rovnakú rýchlosť, má nižšiu hmotnosť (pretože palivovú nádrž a motor nahrádza človek), ale jeho čelná plocha je vyššia, pretože cyklista nie je natoľko aerodynamický ako eko-auto.

Na obrázku 20.4 je ďalšia z možností náhrady automobilu na benzín: vlak, ktorý, ak je jeho kapacita plne vyťažená, spotrebuje **1,6 kWh na 100 osobo-km**. V kontraste s eko-autom a bicyklom dosahuje vlak vynikajúcu účinnosť aj pri vyšších rýchlostiach a väčšej relatívnej hmotnosti (hmotnosť vozidla prepočítaná na osobu). Vlaky svoju veľkú rýchlosť a hmotnosť vyvažujú princípom malej čelnej plochy na osobu. Kým efektívna čelná plocha cyklistu alebo bežného auta dosahuje 0,8 m<sup>2</sup>, resp. 0,5 m<sup>2</sup>, pri plne obsadenom osobnom vlaku premávajúcim medzi Londýnom a Cambridgeom je to 0,02 m<sup>2</sup> na osobu.



Obrázok 20.2 Ekoauto od Team Crocodile spotrebuje **1,3 kWh na 100 km**. Fotografia láskavo poskytol Team Crocodile. <http://www.teamcrocodile.com/>



Obrázok 20.3 Deti na palube. Tento spôsob prepravy má spotrebu energie **1 kWh na 100 osobo-km**.



Obrázok 20.4 Osobný vlak s ôsmimi vagónmi z Cambridgea do Londýna spotrebuje pri maximálnej rýchlosti 100 míľ za hodinu (161 km/h) **1,6 kWh na 100 osobo-km**, ak je plný.

Ale pozor, tým sa dostávame k chúlостovej otázke – vyhlíadke spoločného cestovania so „všetkými tými hroznými ľuďmi“. Dobre, natlačme sa na palubu a spýtajme sa: Koľko by sme mohli ušetriť pri výmene osobných žrútov nafty za dokonale premyslený systém integrovanej verejnej hromadnej dopravy?

Obrázok 20.5 Príklady verejnej hromadnej dopravy a ich energetické účinnosti pri optimálnych podmienkach. Podzemné a nadzemné metro.

Dva vysokorýchlostné vlaky. Elektrický spotrebuje 3 kWh na 100 sedadlo-km; naftový 9 kWh.

Trolejbusy v San Franciscu.

Trajekt vo Vancouveri. Fotografia: Larry.



4,4 kWh na 100 o-km, ak je plný

3 - 9 kWh na 100 o-km, ak je plný



7 kWh na 100 o-km, ak je plný

21 kWh na 100 o-km, ak je plný

### Verejná hromadná doprava

Pri vhodnej prevádzke je hromadná doprava oveľa účinnejšia ako individuálna automobilová doprava. **Autobus** s naftovým motorom, prevážajúci 49 cestujúcich pri rýchlosti 65 míľ za hodinu, spotrebuje 1 galón paliva na 10 míľ [t. j. pri rýchlosti 100 km/h spotrebuje takmer 28,5 litrov paliva na 100 km - pozn. prekl.], čo zodpovedá **6 kWh na 100 o-km**. Teda 13-krát menej ako osobné auto s jedným cestujúcim. **Trolejbusy** vo Vancouveri majú spotrebu energie 270 kWh na 100 vozidlo-km a dosahujú priemernú rýchlosť 15 km/h. Ak trolejbus preváža 40 cestujúcich, jeho účinnosť je **7 kWh na 100 o-km**. **Trajekt** premávajúci vo Vancouveri dosahuje pri rýchlosti 13,5 km/h energetické náklady 83 kWh na vozidlo-km. Dokáže previezť 400 ľudí, takže pri plnom vyťažení sú jeho prepravné náklady **21 kWh na 100 o-km**. Londýnske **metro** v čase dopravnej špičky spotrebuje len **4,4 kWh na 100 o-km**, čo je 18-krát lepší výsledok ako v prípade osobného auta. Dokonca aj **vysokorýchlostné vlaky**, hoci porušujú dva z našich princípov úspor energie svojou dvojnásobnou rýchlosťou a vysokou hmotnosťou, sú energeticky omnoho účinnejšie ako autá: ak je elektrický vysokorýchlostný vlak plne obsadený, spotrebuje **3 kWh na 100 o-km**, čo je v porovnaní s automobilom 27-krát menej!



Musíme však byť pri našom plánovaní realistickí. Vlaky a autobusy často nie sú úplne vyťažené (obr. 20.6). Takže *priemerné* energetické náklady hromadnej dopravy sú samozrejme vyššie ako v uvedených príkladoch. Aká je teda *priemerná* spotreba v systéme hromadnej dopravy a aký je realistický odhad na ich zlepšenie?

V rokoch 2006 - 2007 boli celkové energetické náklady všetkých vozidiel metra v Londýne, vrátane osvetlenia, eskalátorov, dep a opravárenských dielní, **15 kWh na 100 o-km**, čo je päťkrát lepšie ako v prípade nášho bežného auta. Čo sa týka všetkých londýnskych autobusov, bolo to **32 kWh na 100 o-km**. Energetické náklady samozrejme nepredstavujú jediný faktor, ktorý treba brať do úvahy. Cestujúcich zaujíma rýchlosť: a metro dosahuje vyššiu rýchlosť (v priemere 33 km/h) ako autobusy (18 km/h). Manažérov zaujíma finančná efektívnosť: náklady personálu prepočítané na osobo-km sú v prípade metra nižšie ako v autobusovej doprave.



Obrázok 20.6 Niektoré vlaky nie sú plné. Traja ľudia a violončelo sú jedinými cestujúcimi vo vysokorychlostnom vlaku na trati z Edinburghu do Kings Cross s odchodom o 10.30 h.



32 kWh na 100 o-km



9 kWh na 100 o-km

Obrázok 20.7 Príklady verejnej dopravy a ich priemerných spotrieb energie. Vľavo: červené autobusy hromadnej dopravy. Vpravo: električka v Croydone. Fotografia: Stephen Parascandolo.

Celková spotreba energie systému električiek Croydon Tramlink (obr. 20.7) v rokoch 2006 - 7 (vrátane depa a zariadení na zastávkach) bola **9 kWh na 100 o-km**, s priemernou rýchlosťou 25 km/h.

Ako je možné zdokonaľiť hromadnú dopravu? Odpoveď nám aspoň zhruba poskytujú údaje z Japonska v tabuľke 20.8. Sľubné sú hodnoty **19 kWh na 100 o-km** a **6 kWh na 100 o-km** v prípade autobusu, respektíve vlaku. Výhoda vlaku spočíva v tom, že zodpovedá obom potrebným cieľom: zníženiu spotreby energie a nezávislosti od fosílnych palív. Autobusy majú zase výhodu v jednoduchosťi a prispôsobivosti, no zachovanie ich flexibility bez fosílnych palív nemusí byť ľahké.

Aby sme to zhrnuli, hromadná doprava (najmä elektrické vlaky, električky a autobusy) sa zdá byť vhodným prostriedkom na zaistenie dopravy cestujúcich. V porovnaní s autami je spotreba na osobo-kilometer približne päť- až desaťnásobne nižšia. Ak sa však nechceme zriecť pružnosti, ktorú nám poskytujú osobné vozidlá, aké sú ďalšie možnosti?

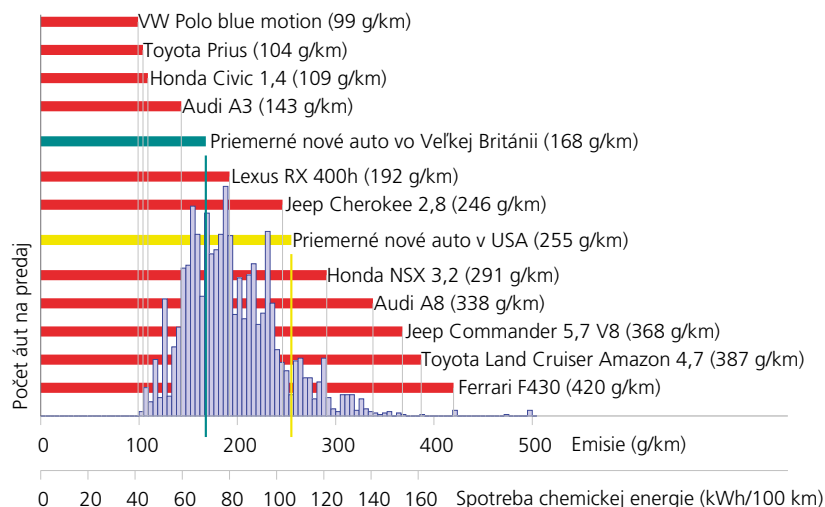
Spotreba energie (kWh na 100 o-km)	
Auto	68
Autobus	19
Vlak	6
Lietadlo	51
Loď	57

Tabuľka 20.8 Celkové účinnosti jednotlivých spôsobov dopravy v Japonsku (1999).

Obrázok 20.9 Emisie v gramoch CO<sub>2</sub> na km v prípade niektorých značiek automobilov na trhu vo Veľkej Británii. Horizontálna os obsahuje hodnoty emisí a výška modrého stĺpca predstavuje množstvo automobilov na predaj v roku 2006.

Zdroj: <http://www.newcarnet.co.uk/>.

Nižšie položená horizontálna čiara obsahuje hodnoty približnej spotreby energie za predpokladu, že 240 g CO<sub>2</sub> zodpovedá 1 kWh chemickej energie paliva.



Obrázok 20.10 Osobité výhody pri parkovaní elektromobilov v Ann Arbor, Michigane.



Obrázok 20.11 Takéto monštrá sú dosť vysoké na to, aby zastrelili výhľad a viditeľnosť chodcov.

### Osobné vozidlá: technológia, legislatívne predpisy a podpora

Spotrebu energie v prípade osobných automobilov *možno* znížiť. Dôkazom je aj široké spektrum energetickej účinnosti predávaných áut. V jednej predajni ste v roku 2006 mohli kúpiť Hondu Civic 1,4, ktorá má spotrebu zhruba 44 kWh na 100 km, alebo Hondu NSX 3,2, ktorá má spotrebu 116 kWh na 100 km (obr. 20.9). Skutočnosť, že zákazníci *kupujú* autá v takomto širokom rozsahu spotreby napovedá, že by sme mali ľahkovážnych zákazníkov motivovať rôznymi formami podpory a legislatívou, aby si *zvolili* energeticky úspornejšie auto. Spôsobov, ako presvedčiť spotrebiteľa, aby uprednostnil Hondu Civic pred žrútom paliva, akým je Honda NSX 3,2, je viacero: zvýšenie cien paliva; zvýšenie dane za nové auto v pomere k jeho spotrebe; zvýšenie cestnej dane za žrútov paliva; lepšie možnosti parkovania pre úsporné autá (obr. 20.10); alebo predaj paliva v prídelovom systéme. Všetky takéto opatrenia sú nepopulárne, prinajmenšom u určitej skupiny voličov. Možno, že lepšou legislatívnou taktikou by bolo vynútenie rozumnej energetickej účinnosti, ako pokračovať v ponuke neobmedzeného výberu. Napríklad by bolo možné jednoducho od určitého dňa zakázať predaj akýchkoľvek áut, ktoré by mali spotrebu energie vyššiu ako 80 kWh na 100 km, a potom neskôr tento strop znížiť na 60 kWh na 100 km, potom na 40 kWh na 100 km a tak ďalej. Prípadne, aby mal spotrebiteľ viacero možností, regulácie by mohli nútiť výrobcov automobilov znižovať *priemernú* energetickú spotrebu všetkých predávaných áut. Dodatočná legislatíva obmedzujúca hmotnosť a čelnú plochu vozidiel by zároveň znižovala spotrebu paliva a zvyšovala bezpečnosť pre ostatných účastníkov premávky (obr. 20.11). Ľudia si dnes vyberajú svoje autá skôr pre ich vzhľad. So silnou legislatívou zameranou na účinnosť by stále bolo možné vyberať zo širokého rozsahu dizajnov, iba že by boli energeticky účinnejšie. Mohli by ste si vybrať akúkoľvek farbu, ak bude zelená.

Kým čakáme na voličov a politikov, aby sa dohodli na legislatíve pre účinné autá, aké sú ďalšie možnosti?



Obrázok 20.12 Kruhový objazd v Enschede, Holandsko.

### Bicykle

Mojím obľúbeným návrhom je vytvoriť čo najlepšie zariadenia pre cyklistov, ktoré doplní vhodná legislatíva (napr. nižšie rýchlostné limity či predpisy týkajúce sa kolízií so zvýhodnením cyklistov). Na obrázku 20.12 je kruhový objazd v holandskom Enschede. Sú tu dva kruhy: kruh pre autá leží vnútri kruhu pre bicykle a oddeľuje ich dostatočná vzdialenosť približne dĺžky auta. Pravidlá prednosti sa zhodujú s pravidlami pre britské kruhové objazdy s jedným rozdielom: auto opúšťajúce stredový kruh musí dať prednosť cyklistovi (podobne ako vo Veľkej Británii dávajú prednosť na priechode pre chodcov). Tam, kde sú vytvorené ideálne podmienky pre cyklistov, ľudia svoje bicykle využijú, ako dokazuje aj nekonečné množstvo týchto dopravných prostriedkov pred vlakovou stanicou v Enschede (obr. 20.13).

Ktovie prečo, no podmienky pre cyklistov vo Veľkej Británii (obr. 20.14) sa k holandským štandardom ešte nepriblížili.



Obrázok 20.13 Zopár holandských bicyklov.



Obrázok 20.14 Zatiaľ čo vo Veľkej Británii...  
Fotografia vpravo: Mike Armstrong.



Obrázok 20.15 Stanica Vélo'v v Lyone.



Obrázok 20.16 Pri takejto dopravnej zápche je rýchlejšia chôdza.

Vo francúzskom Lyone začala v roku 2005 pôsobiť cyklosieť Vélo'v v súkromnom vlastníctve, ktorá sa osvedčila a stala sa populárnou. 470 000 obyvateľov má k dispozícii 2 000 bicyklov prostredníctvom 175 staníc, ktoré pokrývajú oblasť s rozlohou 50 km<sup>2</sup> (obr. 20.15). V centre mesta sa záujemca o službu obvykle nenachádza ďalej ako 400 metrov od najbližšej cyklostanice. Za poplatok 10 eur ročne si môže kedykoľvek vziať bicykel na jazdu kratšiu ako 30 minút. Pri dlhších jazdách zákazníci doplácajú do 1 eura za hodinu. Spoločnosť nezabúda ani na turistov: týždňový lístok stojí 1 euro.

### Ďalšie možnosti legislatívy

Jednoduchým nástrojom je rýchlostný limit. Autá, ktoré jazdia pomalšie, spotrebujú menej energie (pozri kapitolu A). Šikovní šoféri dokážu jazdiť ekonomickejšie: ak čo najmenej zrýchľujú a brzdia a jazdia na najvyššom možnom prevodovom stupni, dokážu ušetriť až 20 % paliva.

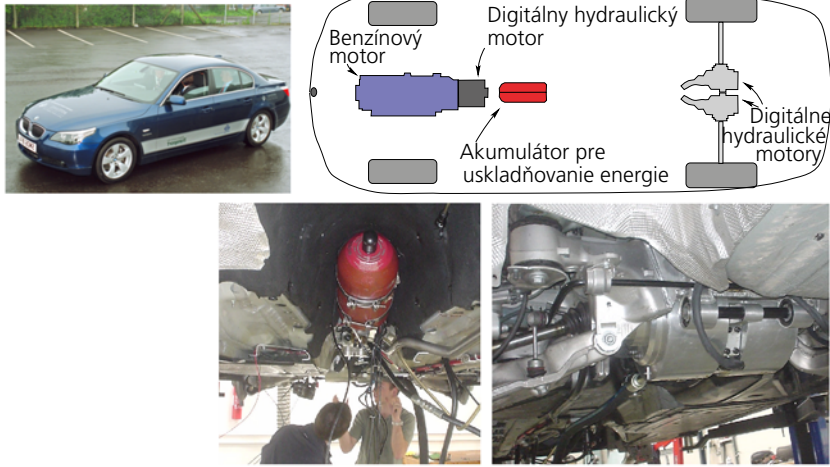
Palivo šetríme aj vtedy, keď sa vyhýbame zápcham. Jazda s častým zastavovaním a rozbiehaním vozidla, jeho zrýchľovaním a spomaľovaním je oveľa menej účinná ako jazda plynulá. Vyčkávanie v zápchach s bežiacim motorom je obzvlášť zlý spôsob, ako prejsť čo najviac kilometrov na liter paliva!

Dopravné zápchy sa objavujú vtedy, keď je na ceste príliš veľa vozidiel. Takže jednoduchý spôsob, ako ich obmedziť, je zoskupiť cestujúcich do menšieho počtu vozidiel. Veľmi zaujímavý výsledok dostaneme, ak porovnáme cestovanie autami a autobusmi z hľadiska dĺžky cesty, ktorú si jednotlivé spôsoby vyžadujú. V prípade vyťaženej hlavnej cesty s rýchlosťou dopravy 60 míľ za hodinu je bezpečná vzdialenosť medzi dvoma autami 77 m. Ak predpokladáme auto s 1,6 cestujúceho vo vzdialenosti každých 80 m, potom hypotetický presun 40 ľudí do jedného autobusu uvoľní takmer *dva kilometre* cesty!

Dopravné zápchy je možné znížiť vytváraním dobrých alternatív (cyklotrasy, verejná doprava) a osobitným zdaňovaním vodičov, ak k nim prispievajú. V tejto kapitole uvádzam jednoduchú a spravodlivú metódu, ako uviesť do praxe daň z dopravnej zápchy.

### Zlepšovanie áut

Ak predpokladáme, že rozvinutý svet sa nevzdá svojho zaľúbenia do áut, aké technológie nám potom môžu zabezpečiť významné úspory energie? Úspory 10 - 20 % môžeme dosiahnuť pomerne jednoducho – niektoré možnosti sme už uviedli, ako napr. výroba menších a ľahších áut. Ďalšou možnosťou je prechod od využívania benzínu k naftu. Výroba naftových motorov je drahšia, no takéto motory sú obvykle úspornejšie. Existujú také technológie, ktoré by mohli radikálne zvýšiť účinnosť reťazca premeny energie z paliva? (Pripomínam, že v prípade bežného benzínového motora sa až 75 % energie uvoľní ako teplo cez chladič do vonkajšieho prostredia!). A čo náš cieľ zbaví sa závislosti od fosílnych palív?



Obrázok 20.17 BMW 530i po úprave spoločnosťou Artemis Intelligent Power využíva digitálne hydraulické zariadenie. Vľavo dole: 6-litrový akumulátor (červená nádoba) je schopný uskladniť približne 0,05 kWh energie vo forme stlačeného dusíka. Vpravo dole: dva 200 kW hydraulické motory, každý pre jedno zadné koleso, ktoré zrýchľujú aj spomaľujú vozidlo. Auto poháňa štandardný benzínový motor s výkonom 190 kW, ale vďaka digitálnej hydraulickej prevodovke a rekuperácii ušetrí 30 % paliva.

V tejto časti sa budeme zaoberať piatimi technológiami: rekuperáciou energie pri brzdení, hybridnými automobilmi, elektromobilmi, autami na vodíkový pohon a napokon autami na stlačený vzduch.

### Rekuperácia energie pri brzdení

Pri spomaľovaní vozidla je možné zachytiť energiu štyrmi spôsobmi.

1. Elektrický generátor pripojený ku kolesám môže nabiť elektrický akumulátor alebo superkondenzátor.
2. Hydraulický motor poháňaný kolesami môže stláčať vzduch, ktorý sa uskladní v malej nádrži.
3. Energii môže uskladniť zotrvačník.
4. Energii z brzdzenia možno tiež uskladniť ako gravitačnú energiu, ak pôjdeme hore kopcom vždy, keď chceme spomaliť. Táto možnosť uskladnenia je však veľmi nepraktická, keďže rampa musí byť na správnom mieste. Ale je to možnosť veľmi užitočná pre vlaky a dobre ju ilustruje trasa Viktória v londýnskom metre. Jej stanice sú umiestnené na kopci. Prichádzajúce vlaky svah automaticky spomaľuje, kým odchádzajúcim vlakom jazda dole kopcom pomáha pri zrýchlení. Takáto štruktúra trasy pomáha usporiť 5 % energie a vlaky chodia o 9 % rýchlejšie.

Rekuperácia (s použitím akumulátora na uskladnenie energie) získa zhruba 50 % energie z brzdzenia, čo zodpovedá približne 20% zníženiu spotreby energie pri jazde v meste.



Obrázok 20.18 Zotrvačkový systém pre rekuperáciu energie pri brzdení. Fotografie použité s láskavým povolením Flybrid Systems.

### Hybridné automobily

Hybridné autá, ako napr. Toyota Prius (obr. 20.19), majú účinnejší motor a elektrickú rekuperáciu. Priznajme si však, že dnešné hybridné automobily z radu príliš nevyčínievajú (obr. 20.9).

Horizontálne pásy na obrázku 20.9 uvádzajú aj dva hybridy. Kým nové auto vo Veľkej Británii v priemere emituje 168 g CO<sub>2</sub> na km, hybrid Prius emituje 100 g, teda rovnako, ako niekoľko ďalších nehybridných vozidiel: VW Polo „blue motion“ uvoľní 99 g/km a Smart dokonca len 88 g/km.

Lexus RX 400h je ďalší hybrid, ktorého predaj sprevádzal slogan: NÍZKE ZNEČISTENIE. ŽIADNA VINA. Lenže jeho emisie CO<sub>2</sub> dosahujú až 192 g/km, čo je horšie, ako pri priemernom britskom aute! Úrad pre reklamné štandardy rozhodol, že táto reklama prekročila hranice v otázkach pravdivosti, porovnávaní a environmentálnych vyhlásení. „Usúdili sme, že... publikum jej mohlo porozumieť tak, že auto len málo alebo vôbec nepoškodzuje životné prostredie, čo sa nezakladá na pravde, a tiež, že jeho emisie v porovnaní s ostatnými autami sú nízke, čo sa taktiež nezakladá na pravde.“

Hybridné vozidlá vo všeobecnosti prinášajú úspory 20 až 30%. Podľa mňa teda ani benzínovo/elektrické hybridy, ani benzínovo/hydraulické hybridy uvedené na obrázku 20.17 v skutočnosti problém neriešia. Úspora fosílnych palív 30% je skvelá vec, ale nestačí pre ciele, ktoré sledujeme v tejto knihe. Náš počiatkový predpoklad bol, že fosílnym palivám sa chceme vyhnúť, alebo aspoň znížiť ich spotrebu o 90%. Môžeme tento cieľ dosiahnuť bez návratu k bicyklom?



Obrázok 20.19 Toyota Prius – podľa Jeremyho Clarksona „veľmi drahý, veľmi zložitý, nie super zelený, pomalý, lacno urobený a nezmyselný spôsob prepravy“.



Obrázok 20.20 Elektromobily. Zľava: G-Wiz; hrdzavejúci Sinclair C5; Citroen Berlingo; Eletrica.

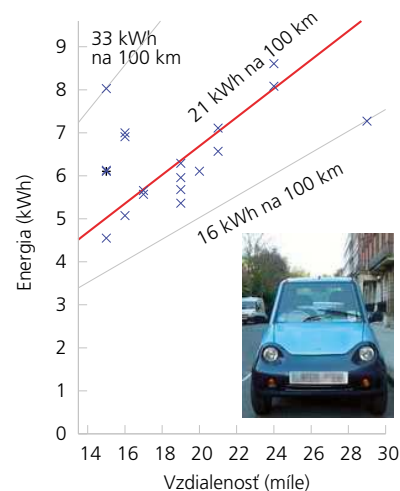
### Elektromobily

Elektromobil REVA mal premiéru na trhu v júni 2001 v Bangalore a do Veľkej Británie sa dováža pod názvom G-Wiz. Maximálny výkon jeho elektromotora je 13 kW a nepretržitý výkon dosahuje 4,8 kW. Motor zaisťuje aj rekuperáciu. Poháňa ho 8 šesťvoltových olovených akumulátorov, pomocou ktorých dokáže po plnom nabití prejsť „až do 77 km“. Na ich plné nabitie spotrebuje 9,7 kWh elektriny. Tieto čísla znamenajú nákladnosť dopravy 13 kWh na 100 km.

Zvykom výrobcov je vždy uvádzať najlepšie hodnoty svojich výrobkov. Ako je to však v skutočnosti? V prípade vozidla G-Wiz udáva skutočné parametre z prevádzky v Londýne obrázok 20.21. Počas 19 cyklov nabitia bola priemerná cena dopravy **21 kWh na 100 km** – čo je približne 4-krát lepšie ako pri priemernom aute na fosílné palivo. Najlepší výsledok bol 16 kWh na 100 km a najhorší 33 kWh na 100 km. Pri prepočte na emisie oxidu uhličitého, 21 kWh na 100 km zodpovedá 105 g CO<sub>2</sub> na km, za predpokladu, že elektrine zodpovedá uhlíková stopa 500 g CO<sub>2</sub> na kWh.

Takže G-Wiz sa nachádza na jednej strane výkonnostného spektra. Ale čo ak by sme požadovali viac – väčšie zrýchlenie, rýchlosť a dojazd? Na druhej strane spektra je Tesla Roadster. Model tohto automobilu z roku 2008 má dojazd 354 km; jeho lítium-iónové akumulátory uskladnia 53 kWh a majú hmotnosť 450 kg (120 Wh/kg). Vozidlo má hmotnosť 1 220 kg a motor dosiahne maximálny výkon 185 kW. Aká je spotreba energie tohto silného auta? Veľmi prekvapujúco, je nižšia ako pri automobile G-Wiz: **15 kWh na 100 km**. Dojazd 354 km by pritom mal byť dostatočný – len 8,3 % ľudí dochádza do práce na vzdialenosť väčšiu ako 30 km.

Vyhľadal som prevádzkové parametre množstva elektromobilov (uvádzam ich v poznámkach ku kapitole) a ukazuje sa, že údaje sú v súlade so záverom: elektromobily môžu poskytovať dopravu pri energetickom výdaji približne **15 kWh na 100 km**. Čo je päťnásobne lepšie ako bežné autá poháňané fosílnymi palivami a značne lepšie, ako akékoľvek hybridné vozidlo. Hurá! Aby sme sa prepravovali ekonomicky, nemusíme sa všetci nevyhnutne natlačiť do verejnej dopravy – vďaka elektromobilom si môžeme aj naďalej užívať radosti a slobodu sólo jazdy.



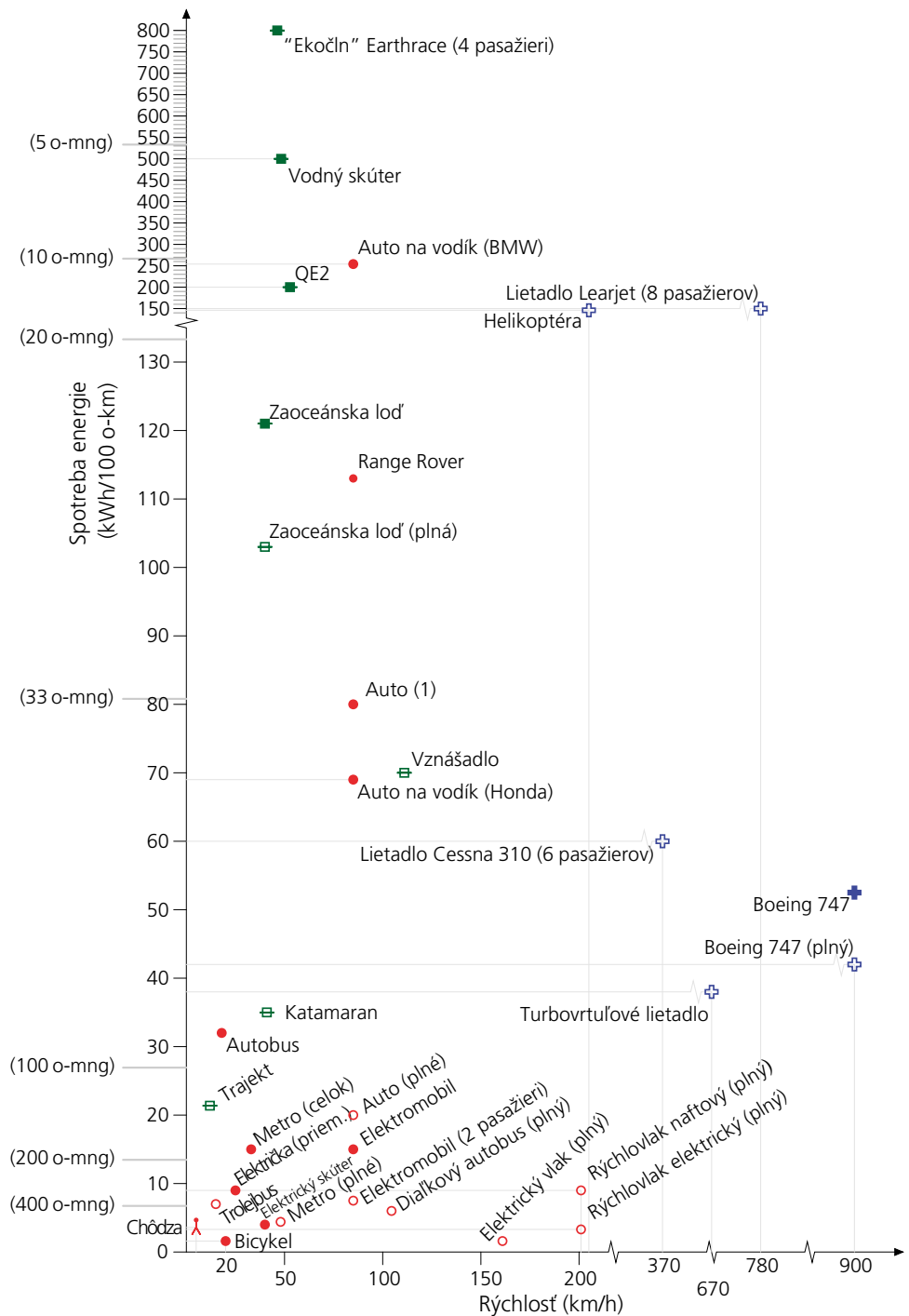
Obrázok 20.21 Elektrina, ktorú treba na nabitie G-Wiz v porovnaní s prejde-nou vzdialenosťou. Merané v elektrickej zásuvke.



Obrázok 20.22 Tesla Roadster: **15 kWh na 100 km**. [www.teslamotors.com](http://www.teslamotors.com).

Obrázok 20.23 Energetická náročnosť rôznych spôsobov verejnej dopravy. Zvislá súradnica uvádza spotrebu energie v kWh na 100 o-km. Na vodorovnej súradnici sú hodnoty rýchlosti dopravy. „Auto (1)“ predstavuje priemerné auto vo Veľkej Británii, obsadené jednou osobou, so spotrebou 1 galón na 33 míľ [8,6 litrov na 100 km - pozn. prekl.]. „Autobus“ zodpovedá priemerným parametrom všetkých autobusov v Londýne. Podobne „Metro-celok“ zodpovedá celému londýnskemu systému tohto druhu dopravy. Katamarán je plavidlo s naftovým motorom. Na ľavej strane uvádzam spotrebu paliva v pasažier-míľach na britský galón (o-mng) (anglicky mpg). Prázdne značky zodpovedajú optimálnej prevádzke a predpokladu, že vozidlo je plne obsadené. Plné značky zodpovedajú skutočnej prevádzke.

Pozri tiež obrázok 15.8 (energetická náročnosť nákladnej dopravy).





Zdá sa, že v tomto slávnostnom okamihu prišla výborná príležitosť, pri ktorej je vhodné odhaliť súhrnný graf kapitoly na obrázku 20.23. Znázorňuje energetické nároky všetkých druhov hromadnej dopravy, ktorými sme sa zaoberali, ako aj niekoľko ďalších, ktoré na rad ešte len prídu.

Takže preteky sa skončili a vyhlasujem dvoch víťazov: hromadnú dopravu a elektromobily. Jestvujú však aj ďalšie možnosti, ako sa dostať za cieľovú čiaru? Ešte sme sa nezaoberali autom na stlačený vzduch a autom na vodíkový pohon. Ak aj niektoré z nich budú lepšie ako elektromobil, z dlhodobého hľadiska to veľa neznamená: ktorúkoľvek z týchto troch technológií by sme uprednostnili, vozidlá by sme poháňali energiou zo „zeleného“ zdroja.

### Autá na stlačený vzduch

Automobily na stlačený vzduch nie sú novinkou. V období 1879 až 1911 vo francúzskych mestách Nantes a Paríž premávali stovky „električiek“, ktoré poháňal stlačený vzduch a horúca voda. Na obrázku 20.24 je nemecká pneumatická lokomotíva z roku 1958. Myslím, že z hľadiska energetickej efektívnosti využitie stlačeného vzduchu v porovnaní s elektrickými akumulátormi nepredstavuje dobrú možnosť uskladnenia energie. Problém spočíva v tom, že pri stláčaní vzduchu vytvárame teplo, ktoré pravdepodobne nedokážeme efektívne využiť; kým pri expanzii vzduchu prostredie ochladzujeme, čo predstavuje podobný problém. Na druhej strane, stlačený vzduch má v porovnaní s akumulátormi aj obrovské výhody. Vzduch napríklad môžeme stlačiť tisíckrát bez toho, aby sa „unavil“. Je zaujímavé poznamenať, že prvým výrobkom, ktorý predala spoločnosť Aircar, bol práve *elektrický* skúter [<http://www.theaircar.com/acf/>].

Dnes sa veľa hovorí o firme Tata Motors v Indii, ktorá má autá na pohon vzduchom vyrábať. Zatiaľ však nie je isté, či sa autá na vzduch dožijú návratu, pretože dosiaľ nikto nezverejnil parametre nového prototypu. Poznáme pritom základné obmedzenie: hustota uskladnenej energie vo forme stlačeného vzduchu je iba okolo 11 až 28 Wh na kg, čo predstavuje hodnotu podobnú oloveným akumulátorom a asi päťkrát menšiu, ako v prípade lítium-iónových akumulátorov. (Ďalšie údaje o technológiách uskladnenia energie nájdete na str. 199, obr. 26.13.) Takže dojazd áut poháňaných stlačeným vzduchom dosiahne nanajvýš hodnotu najstarších elektromobilov. Na druhej strane, uskladnenie stlačeného vzduchu má v porovnaní s akumulátormi tri výhody: dlhšiu životnosť a lacnejšiu výrobu s menším množstvom nebezpečných chemických látok.

### Autá na vodík – užite si jazdu

Myslím, že autá na vodík sú len nafúknutá bublina. Veľmi rád by som sa síce mýlil, ale nevidím možnosti, ako by nám vodík pomohol vyriešiť problémy v energetike. Problém je, že vodík nepredstavuje *záračný zdroj* energie, je len jej *nosič*, podobne ako nabíjateľný akumulátor. A navyše je to dosť neefektívny nosič, s celým zástupom praktických nedostatkov.



Obrázok 20.24 Hore: Električka na stlačený vzduch v Nantes čerpajúca vzduch a paru. Na poháňanie týchto vozidiel sa spotrebovalo 4,4 kg uhlia (36 kWh) na kilometer, alebo **115 kWh na 100 o-km**, ak by boli vozidlá plné. [5qhvcb] Dole: lokomotíva na stlačený vzduch; hmotnosť 9,2 t, tlak 175 barov, výkon 26 kW. Fotografie s láskavým povolením: Rüdiger Fach, Rolf-Dieter Reichert a Frankfurter Feldbahnmuseum.



Obrázok 20.25 Hummer H2H: zelená revolúcia na americký spôsob. Fotografia s láskavým povolením General Motors.



Obrázok 20.26 BMW Hydrogen 7.  
Spotreba energie: 245 kWh  
na 100 km. Fotografia: BMW.



Obrázok 20.27 „Ekočln“ Earthrace.  
Fotografia: David Castor.



Obrázok 20.28 Honda FCX Clarity  
s palivovými článkami poháňanými  
vodíkom a Jamie Lee Curtis na po-  
rovnanie výšky. Zverejnené vďaka  
automobiles.honda.com.

„Vodíkovú ekonomiku“ podporil aj časopis *Nature* stĺpčekom, kde pochválil guvernéra Kalifornie Arnolda Schwarzeneggera za Hummer na vodíkový pohon (obr. 20.25). Autor článku ocenil Arnoldovu víziu áut na vodíkový pohon, ktoré nahradia „znečisťujúce modely“, výrazom „guvernér je skutočným klimatickým akčným hrdinom“. Pri podobnom vodíkovom hrdinstve si však musíme položiť kľúčovú otázku: „Odkiaľ bude pochádzať energia, ktorú potrebujeme na výrobu vodíka?“ Navyše, premena energie (prakticky len elektriny) na chemickú energiu systému vodík-kyslík a z nej (naspäť) na elektrinu sa uskutočňuje len veľmi neefektívne – aspoň s dnešnou technológiou.

Tu je niekoľko konkrétnych údajov:

- Z projektu CUTE (Clean Urban Transport for Europe), ktorého zámerom bolo preukázať uskutočniteľnosť a spoľahlivosť autobusov s palivovými článkami a vodíkovej technológie, vyplynulo, že autobusy poháňané vodíkom spotrebovali o 80 až 200 % viac energie ako najjednoduchší autobus s naftovým motorom.
- Na pohon vozidla Hydrogen 7, vodíkového auta firmy BMW, treba 254 kWh na 100 km – teda o 220 % viac energie ako v prípade priemerného európskeho auta.

V situácii, kde by bolo našou úlohou „prestať používať fosílna palivá v doprave za predpokladu, že k dispozícii je neobmedzené množstvo zelenej elektriny zadarmo“, by potom aj hýrenie energiou v doprave, napr. na využívanie vodíka, predstavovalo určitú možnosť (hoci s vodíkom sú spojené aj ďalšie problémy). Ale *zelená elektrina nie je zadarmo*. Získať zelenú elektrinu v potrebnom rozsahu bude predstavovať veľkú výzvu. Problém fosílnych palív je energetickým problémom, rovnako ako zmena klímy. Potrebujeme sa zamerať na riešenia, ktoré smerujú k využívaniu menšieho množstva energie, nie „riešenia“, ktoré jej využívajú viac! *Nepoznám spôsob pozemnej prepravy, pri ktorej by bola spotreba energie vyššia ako pri aute na vodík*. (Jediný ešte horší spôsob, ktorý poznám, je vodný skúter so spotrebou 500 kWh na 100 km a bionaftová rýchlostná loď Earthrace, absurdne nazývaná eko-loďou, ktorá spotrebuje až 800 kWh na 100 o-km.)

Zástancovia vodíkovej technológie môžu tvrdiť, že „BMW Hydrogen 7 je iba prvý prototyp a je to luxusné auto s množstvom zbytočnej sily – technológia bude účinnejšia“. V to dúfam aj ja, pretože ešte má veľa čo doháňať. Tesla Roadster (obr. 20.22) je tiež prvý prototyp, a tiež ide o luxusné auto s množstvom zbytočnej sily. A je viac ako 10-násobne účinnejšie ako Hydrogen 7! Ak chcete, pokojne stavte svoje peniaze na vodíkového dosiahového koňa a ak vyhrá, v poriadku. Ale zdá sa byť hlúpe stavať na koňa, ktorý je na trase príliš pozadu. Len sa pozrite na obrázok 20.23 – ak by som nestlačil vrch zvislej osi, vodíkové auto by sa na stránku knihy ani nevošlo!

Áno, vodíkové auto s palivovými článkami Honda FCX Clarity je na tom lepšie – premáva s účinnosťou 69 kWh na 100 km, ale moja predpoveď je, že po tom, čo sa skončia všetky vyhlásenia týkajúce sa „nulových emisií“, zistíme, že vodíkové autá spotrebovávajú presne toľko energie, ako dnešné priemerné autá na fosílny pohon.

Tu sú niektoré ďalšie problémy s vodíkom. Vodík je v porovnaní s ostatnými tekutými palivami menej vhodný na uskladňovanie, najmä pre svoj objem, či už je uskladnený pod tlakom ako plyn, alebo ako kvapalina (ktorá vyžaduje teplotu -253 °C). Dokonca aj pri tlaku 700 barov (čo vyžaduje silnú tlakovú nádobu) je jeho energetická hustota (množstvo energie na jednotku objemu) iba 22 % energetickej hustoty benzínu. Kryonádž BMW Hydrogen 7 má hmotnosť 120 kg a uskladní 8 kg vodíka. Ďalej, vodík postupne uniká prakticky z akýchkoľvek používaných nádrží. Ak by ste zaparkovali svoje vodíkové auto s plnou nádržou a vrátili sa o týždeň neskôr, väčšina vášho vodíka by zmizla v nenávratne.

*Niektoré otázky týkajúce sa elektromobilov*

***Ukázali ste, že elektrické autá sú energeticky účinnejšie ako tie na fosílny pohon. Ale sú lepšie aj vtedy, ak je naším cieľom znižovať emisie CO<sub>2</sub> a elektrinu získavame pomocou elektrární na fosílna palivo?***

V tomto prípade ide o pomerne jednoduchý výpočet. Predpokladajme, že energetické náklady elektromobilu sú 20 kWh elektriny na 100 km. (Myslím, že 15 kWh na 100 km je istotne tiež možné, ale buďme v týchto výpočtoch skeptickí.) Ak má elektrina zo siete uhlíkovú stopu 500 g na kWh, potom sú efektívne emisie **100 g CO<sub>2</sub> na km**, čo je približne také dobré, ako v prípade najlepších áut na fosílny pohon (obr. 20.9). Takže môj záver je, že prechod na elektromobil je dobrou myšlienkou už teraz aj pred tým, ako prejdeme na výrobu zelenej elektriny\*.

***Elektrické autá, podobne ako tie na fosílny pohon, majú náklady pri výrobe aj pri používaní. Elektrické autá sú možno lacnejšie pri používaní, ale ak akumulátory nevydržia príliš dlho, nemal by sa klásť väčší dôraz na výrobné náklady?***

Áno, to je dobrá poznámka. Môj graf jednotlivých spôsobov dopravy ukazuje iba náklady, ktoré súvisia s dopravou. Ak by elektrické auto vyžadovalo nový akumulátor každých pár rokov, moje výpočty môžu byť podhodnotené. Akumulátory vo väčšine Priusov vydržia podľa predpokladov iba 10 rokov a nové by mali stáť okolo 3 500 libier. Chcel by niekto vlastniť 10 rokov starý Prius a zaplatiť túto sumu? Dalo by sa predpokladať, že väčšina Priusov pôjde do šrotu vo veku 10 rokov. To je určite problém pri všetkých elektromobiloch s akumulátormi. Myslím, že som optimista, ak predpokladám, že s prechodom na elektromobily sa zlepší aj technológia akumulátorov.

***Žijem v horúcej oblasti. Ako môžem jazdiť v elektromobile, keď potrebujem klimatizáciu náročnú na spotrebu?***

[\*Až také dobré to nie je. Každé zvýšenie spotreby elektriny má uhlíkovú stopu zodpovedajúcu výhradne fosílnym zdrojom, najmenej 1 kg CO<sub>2</sub> na 1 kWh elektriny. Inak by to bolo, ak by sa elektrina odoberala iba niekedy, keď je jej prebytok z obnoviteľných zdrojov – pozn. prekl.]

Na túto požiadavku existuje elegantné riešenie: upevníte 4 m<sup>2</sup> FV panelov na povrchu auta orientované nahor. Ak potrebujete klimatizáciu, nepochybne bude svietiť slnko. Panely s 20 % účinnosťou dokážu vyrobiť až do 800 W, čo je dosť na pohon klimatizácie. Panely dokážu užitočnou energiou prispieť aj vtedy, keď je auto zaparkované. Chladenie auta pomocou slnečného žiarenia odskúšala v roku 1993 Mazda; solárne články boli zabudované v sklenenej posuvnej streche.

### **Žijem na chladnom mieste. Ako môžem jazdiť v elektromobile? Potrebujem energiu na náročné vykurovanie!**

Pri jazde využíva elektrický motor približne 10 kW s účinnosťou 90 – 95 %. Časť príkonu, teda 5 - 10 %, sa uvoľní ako teplo. Elektromobily používané v chladných oblastiach by možno mohli byť špeciálne navrhnuté tak, aby sa teplo vytvorené pri chode motora, v rozsahu 250 až 500 W, dalo odvádzať priamo do auta. Toľko výkonu by umožnilo pohodlné ofukovanie skiel alebo zohriatie tela.

### **Sú lítium-iónové akumulátory bezpečné aj pri havárii?**

Niektoré lítium-iónové akumulátory nemusia byť bezpečné pri skratovaní alebo prehriatí, ale priemysel dnes vyrába bezpečnejšie akumulátory, napríklad lítium-fosfátové. Na [www.valence.com](http://www.valence.com) sa dá nájsť zábavné video o ich bezpečnosti.

### **Existuje dostatok lítia na výrobu akumulátorov pre obrovský počet elektromobilov?**

Svetové zásoby lítia sa odhadujú na 9,5 milióna ton v ložiskách rudy (str. 175). Lítium-iónový akumulátor tvorí z 3 % lítium. Ak predpokladáme, že každé auto má 200 kg akumulátor, potom na každé vozidlo potrebujeme 6 kg lítia. Takže odhadované zásoby ložísk rudy postačujú na výrobu akumulátorov pre 1,6 miliardy automobilov. To je viac ako počet áut dnes (zhruba jedna miliarda), ale nie o veľa viac, takže dostupnosť lítia by mohol byť problém, najmä ak zoberieme do úvahy lítiové ambície jadrovej fúzie (kapitola 24), pri ktorej je lítium potrebné. V morskej vode je lítia mnoho tisíckrát viac, takže možno oceány budú dostatočným záložným zdrojom. Navyše, špecialista na lítium R. Keith Evans hovorí: „Obavy o dostupnosť lítia pre hybridné alebo elektrické automobily sú nepodložené.“ V každom prípade existujú ďalšie bezlítiové technológie, napríklad nabíjateľné akumulátory zinok-vzduch [[www.revolttechnology.com](http://www.revolttechnology.com)]. Myslím, že elektrické auto je to pravé!

### **Budúcnosť lietania**

Superjumbo A380 je podľa spoločnosti Airbus „palivovo veľmi úsporné lietadlo“. V skutočnosti spotrebuje iba o 12 % menej paliva na pasažiera ako Boeing 747.

Boeing tiež oznámil podobný prelom. Ich nový 747-8 Intercontinental vyhlasovali za záchrancu planéty, no podľa reklamy výrobcu je iba o 15 % účinnejšie ako 747-400.



Obrázok 20.29 Airbus A380.

Toto slimačie tempo pokroku (v kontraste s autami, kde technologické zlepšenia prinášajú 2-násobné, alebo dokonca 10-násobné zvýšenie účinnosti) vysvetľuje technická kapitola C. Lietadlá stoja pred základnou prekážkou, ktorou sú zákony fyziky. Akékoľvek lietadlo, akokoľvek veľké, musí spotrebovať približne 0,4 kWh na tonu-kilometer, aby sa udržalo vo vzduchu a letelo ďalej. Lietadlá už fantastickú dokonalosť dosiahli a neexistuje predpoklad výrazných zlepšení ich účinnosti.

Nejaký čas som si myslel, že spôsob, ako vyriešiť problém dopravy na veľké vzdialenosti, je návrat do obdobia pred lietadlami: teda lode. Potom som sa pozrel na čísla. Smutná pravda je, že oceánske dopravné lode spotrebujú viac energie na osobo-kilometrov ako lietadlá jumbo. Loď QE2 potrebuje štvornásobne viac energie na pasažiera ako jumbo. Dobré, ide o luxusnú loď; pochodíme lepšie s pomalšími loďami turistickej triedy? Od roku 1952 do roku 1968 predstavovali ekonomický spôsob cestovania cez Atlantik dve holandské lode známe ako „ekonomické dvojčky“, Maasdam a Rijndam. Cestovali rýchlosťou 16,5 uzla (30,5 km/h), takže cesta z Veľkej Británie do New Yorku trvala osem dní. Ich spotreba energie pri plnom počte pasažierov bola 103 kWh na 100 o-km. Pri typickej obsadenosti 85 %, je spotreba energie **121 kWh na 100 o-km** – viac ako dvojnásobok jumba. Aby sme boli k lodiam spravodliví, neposkytujú pasažierom iba dopravu: poskytujú im tiež teplý vzduch, teplú vodu, svetlo a zábavu na niekoľko dní; ale energia ušetrená v dome, kým sa v ňom nenachádzate, je zanedbateľná v porovnaní so spotrebou energie na lodi, ktorá je v prípade QE2 približne 3 000 kWh za deň na pasažiera.

Takže, bohužiaľ, nedomnievam sa, že lode niekedy porazia lietadlá v úspornosti spotreby energie. Ak chceme cestovať na veľké vzdialenosti bez fosílnych palív, zaujímavou možnosťou môžu byť lode na jadrový pohon (obr. 20.31 a 20.32).

### Čo doprava nákladu?

Medzinárodná lodná doprava je prekvapujúco účinným spôsobom využívania fosílnych palív; takže zrušiť závislosť od fosílnych palív je potrebné skôr v cestnej ako v lodnej doprave. Množstvo týchto palív je však konečné a lode bude musieť nakoniec poháňať niečo iné. Biopalivá *možno* budú fungovať. Inou možnosťou je jadrová energia. Prvá loď na jadrový pohon prevážajúca náklad bola NS Savannah, ktorá vyplávala na more v roku 1962 ako súčasť iniciatívy s názvom *Atómy za mier* prezidenta Dwighta D. Eisenhowera (obr. 20.31). NS Savannah s 15 MW motorom, ktorý je poháňaný 74 MW jadrovým reaktorom, dosahovala rýchlosť 21 uzlov (39 km/h) a dokázala previezť 60 pasažierov a 14 000 t nákladu. To predstavuje dopravné náklady 0,14 kWh na tonu-km. Mohla prejsť 500 000 km bez doplnenia paliva. Dnes už existuje veľa jadrových lodí, vojenských aj civilných. Rusko vlastní desať ľadoborcov na jadrový pohon, sedem z nich je stále funkčných. Obrázok 20.32 ukazuje jadrový ľadoborec Yamal, ktorý má dva 171 MW reaktory a motory s výkonom 55 MW.



Obrázok 20.30 TSS Rijndam.



Obrázok 20.31 NS Savannah, prvá komerčná nákladná loď na jadrový pohon, prechádzajúca pod mostom Golden Gate v roku 1962.



Obrázok 20.32 Jadrový ľadoborec Yamal so 100 turistami na palube smerujúci na severný pól v roku 2001. Fotografia: Wofratz.



Obrázok 20.33 Vlak Maglev na medzinárodnom letisku Pudong v Šanghaji.

„jazdiť bez kolies;  
lietať bez krídiel“

Fotografia: Alex Needham.



Obrázok 20.34 Deväť z desiatich automobilov v Londýne sú G-Wiz. (A 95 % štatistík je vymyslených.)

## „Počkat! Nespomenuli ste magnetický vlak“

Nemecká spoločnosť Transrapid, ktorá vyrobila vlak Maglev pre čínsky Šanghaj (obr. 20.33), hovorí: „Systém Transrapid Superspeed Maglev je neporaziteľný, čo sa týka hluku, spotreby energie a využívania krajiny. Inovatívny bezkontaktný dopravný systém poskytuje mobilitu bez vedľajšieho poškodzovania životného prostredia.“

Magnetická levitácia je jedna z mnohých nahlas vychvaľovaných technológií, keď ľudia diskutujú o záležitostiach energie. V zmysle spotreby energie nie je porovnanie s inými vlakmi natoľko lichotivé, ako by sa podľa vychvaľovania mohlo zdať. Stránka Transrapid porovnáva Transrapid s vlakom InterCityExpress (ICE), čo je vysokorýchlostný elektrický vlak.

---

Porovnanie rýchlovlakov pri rýchlosti  
200 km/h (125 míľ/h)

---

Transrapid	2,2 kWh na 100 sedadlo-km
ICE	2,9 kWh na 100 sedadlo-km

---

Hlavné dôvody, prečo je Maglev o niečo lepší ako ICE: magnetické pohonné zariadenie ma vysokú účinnosť; vlak samotný má nízku hmotnosť, pretože väčšina pohonného systému je v koľajniciach namiesto vo vlaku; a do vlaku sa zmestí viac pasažierov, pretože priestor nezaberajú motory. Och, a možno preto, že údaje sú zo stránok spoločnosti vyrábajúcej Maglev, takže tento vlak bude nevyhnutne vyzeráť lepšie!

Mimochodom, ľudia, ktorí vlak Transrapid v Šanghaji videli, mi vravia, že pri plnej rýchlosti je „približne taký tichý, ako prúdové lietadlo“.

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

119 Často citovaná štatistika, podľa ktorej platí, že „len 1 percento energie spotrebovanej v automobile slúži na premiestňovanie vodiča“. V skutočnosti sa percento v tomto mýte mení, podľa toho, ako koluje v jednotlivých skupinách ľudí. Niektorí ľudia hovoria, že „5 % energie sa spotrebuje na prevoz vodiča“. Podľa iných „iba tri desatiny 1 percenta energie paliva sa spotrebuje na prevoz vodiča“ [4qgg8q]. Mimochodom, môj pohľad na vec je taký, že žiadna z týchto štatistík nie je ani správna, ani užitočná.

- *Bicykel je z hľadiska energie spotrebovanej na km porovnateľný s eko-autom.* Bicyklovanie na jednomiestnom bicykli stojí približne 1,6 kWh na 100 km, pri predpokladanej rýchlosti 20 km/h. Podrobnosti a odkazy na literatúru pozri v kapitole A, strana 262.

- *Osobný vlak s ôsmimi vagónmi z Cambridgea do Londýna* (obr. 20.4) má hmotnosť 275 ton a dokáže odviezť 584 sediacich pasažierov. Maximálna rýchlosť je 100 míľ/h (161 km/h) s výkonom 1,5 MW. Ak sú obsadené všetky sedadlá, tento vlak spotrebuje pri maximálnej rýchlosti najviac **1,6 kWh na 100 osobo-km**.

- 120 *Londýnske metro*. Vlak na linke Viktória pozostáva zo štyroch 30,5-tonových a štyroch 20,5-tonových vagónov (tie prvé nesú motory). Priemerne obsadený vlak má hmotnosť 228 ton. Maximálna rýchlosť je 45 míľ/h. Priemerná rýchlosť je 31 míľ/h. Vlak s takmer plnou obsadenosťou odvezie 350 pasažierov; pri naplnení na prasknutie ich odvezie 620. Spotreba v najväčšej premávke dosahuje **4,4 kWh na 100 osobo-km**. (Catling, 1966).

- *Vysokorýchlostný vlak*. Vlak Intercity 125 na naftový pohon (napravo na obrázku 20.5) má hmotnosť 410 ton. Pri rýchlosti 125 míľ/h je výkon „na koľajniciach“ 2,6 MW. Počet pasažierov v plnom vlaku je približne 500. Priemerná spotreba paliva je približne 0,84 litra nafty na 100 sedadlo-km [5o5x5m], čo predstavuje dopravné náklady približne **9 kWh na 100 sedadlo-km**. Elektrický vlak triedy 91 (vľavo na obrázku 20.5) jazdí rýchlosťou 140 míľ/h (225 km/h) a potrebuje 4,5 MW. Podľa Rogera Kempa je priemerná spotreba tohto vlaku **3 kWh na 100 sedadlo-km** [5o5x5m]. Dokument vlády [5fbeg9] tvrdí, že vlaky hlavných liniek na východe aj západe spotrebujú približne 15 kWh na km (celý vlak). Počet sedadiel v každom vlaku je 526 alebo 470. Takže to znamená **2,9 - 3,2 kWh na 100 sedadlo-km**.

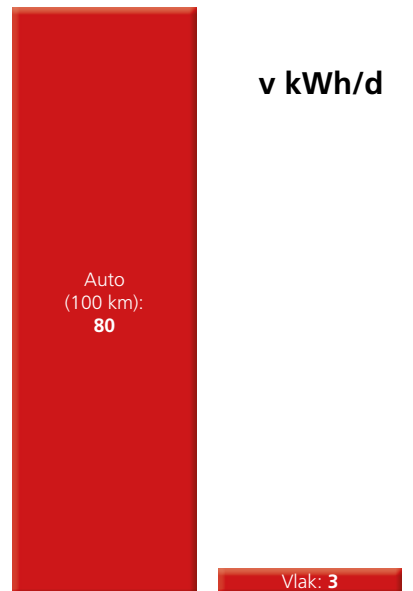
- 121 *...boli celkové energetické náklady všetkých vozidiel metra v Londýne, vrátane osvetlenia, eskalátorov, dep a opravárenských dielní 15 kWh na 100 o-km. ... V prípade všetkých londýnskych autobusov to bolo 32 kWh na 100 o-km.*  
Zdroj: [679rpc]. Zdroj rýchlostí vlakov a autobusov: Ridley a Catling (1982).

- *Električka v Croydone*. [www.tfl.gov.uk/assets/downloads/corporate/TfL-environment-report-2007.pdf](http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/corporate/TfL-environment-report-2007.pdf), [www.tfl.gov.uk/assets/downloads/corporate/London-Travel-Report-2007-final.pdf](http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/corporate/London-Travel-Report-2007-final.pdf), [www.croydon-tramlink.co.uk](http://www.croydon-tramlink.co.uk).

- 123 *...vytvorenie čo najlepších podmienok pre cyklistov...* Britský návod na dizajn ciest [www.manualforstreets.org.uk] navrhuje také riešenia, kde by prirodzená rýchlosť dosahovala 20 míľ za hodinu (32 km/h). Pozri aj Franklin (2007).

- 124 *uvádzam jednoduchú a spravodlivú metódu, ako uviesť do praxe daň z dopravnej zápchky*. Naučil som sa výborný spôsob automatizácie spoplatnenia zápchky od Stephena Saltera. Jednoduchý denný dopravný poplatok, tak ako sa vyberá v Londýne, vysiela vodičom iba neurčitý signál; ak sa raz majiteľ auta rozhodne, že zaplatí denný poplatok za vjazd do frekventovanej zóny, nemá viac motiváciu, aby v nej jazdil *minimálne*. Nedostane tiež žiadnu odmenu, ak si zvolí také cesty v zóne, ktoré nie sú preplnené.

Namiesto centralizovaného úradu, ktorý dopredu rozhoduje o tom, kedy a kde budú dopravné poplatky, za pomoci drahého a narušujúceho monitorovania pohybu automobilov v jednotlivých zónach, Salter ponúka jednoduchšie, decentralizované a anonymné riešenie spoplatnenia vodičov, ak šoférujú v preplnenej, pomalej doprave, kdekoľvek a kedykoľvek sa taká vyskytne. Systém by fungoval na národnej úrovni. Ako? Chceme zariadenie, ktoré odpovie na otázku, „ako upchatá je doprava, do ktorej sa chcem dostať“? Dobrý spôsob, ako vyjadriť hustotu premávky, je „koľko iných pohybujúcich sa áut je vedľa môjho“? Ak je doprava rýchla,



Obrázok 20.35 100 km v aute s jednou osobou, v porovnaní so 100 km vo vysoko rýchlostnom vlaku pri plnom obsadení.



Obrázok 20.36 Električky fungujú dobre v Istanbule aj v Prahe.

medzery medzi autami sú väčšie ako pri pomalšej doprave. Doprava, ktorá sa trápi s nekonečnými radmi, je najhustejšia. Počet pohybujúcich sa áut nablízku je možné anonymne zaznamenávať, ak sa auto vybaví rádiovým vysielačom/prijímačom (niečo ako veľmi lacný mobilný telefón), ktorý vysiela slabé rádiové vlny konštantnou rýchlosťou, kedykoľvek je zapnutý motor, a zároveň počíta prichádzajúce signály ostatných áut; poplatok by sa potom platil na čerpacích staniách pri natankovaní. Rádiový vysielač/prijímač by nahradil súčasný systém dane z dopravy vo Veľkej Británii.

**126 zotrvačníky a hydraulika sa zdajú byť o niečo lepšie, než systémy využívajúce akumulátory – usporia najmenej 70 % z brzdenia.** Stlačený vzduch sa využíva pri rekuperácii energie rozjazdu v nákladných automobiloch; podľa eaton.com „hydraulická podpora štartovania“ využije 70 % kinetickej energie [5cp27]]. Zotrvačník flybridsystems.com takisto zachytáva 70 % kinetickej energie. [www.flybridsystems.com/F1System.html](http://www.flybridsystems.com/F1System.html)

- **Elektrická rekuperácia usporí zhruba 50 % energie.** Zdroj: E4tech (2007).
- **Elektrické akumulátory dodávajúce 60 kW by mali hmotnosť až 200 kg.** Kvalitné lítium-iónové akumulátory majú energetickú hustotu 300 W/kg (Horie a kol., 1997; Mindl, 2003).
- **nové auto vo Veľkej Británii v priemere emituje 168 g CO<sub>2</sub> na km.** Ide o údaj za rok 2006 (King, 2008). Priemerné emisie nových automobilov v USA boli 255 g na km (King, 2008).
- **Toyota Prius má efektívnejší motor.** Benzínový motor Priusu využíva Atkinsonov cyklus na rozdiel od klasického Ottovho cyklu. Vďaka inteligentnému sklbeniu elektrického a benzínového výkonu podľa potrieb vodiča stačí Priusu menší motor, ako je normálne v autách jeho hmotnosti a využíva benzín účinnejšie ako klasický benzínový motor.
- **Hybridné vozidlá vo všeobecnosti prinášajú úspory 20 až 30 %.** Napríklad, podľa výskumnej správy Hitachi, ktorá opisuje hybridné vlaky (Kaneko a kol., 2004): „Pre vysoko účinnú výrobu elektriny a rekuperáciu „sa očakáva, že ušetria približne 20 % paliva“ v porovnaní s klasickými vlakmi na naftový pohon“.

**127 Len 8,3 % ľudí dochádza do práce na vzdialenosť väčšiu než 30 km.** Zdroj: Eddington (2006). O závislosti medzi dojazdom elektrického auta a veľkosťou jeho akumulátora sa diskutuje v kapitole A (str. 261).

- **Množstvo elektromobilov.** Všetky som ich zhrnul nižšie, bez zvláštneho poradia. Ich parametre pochádzajú predovšetkým od výrobcov. Ako sme videli na strane 127, skutočný stav vecí niekedy nezodpovedá ich udávaným hodnotám.

Th!nk – elektrické autá z Nórska. Päťdverový Th!nk Ox má dojazd 200 km. Jeho akumulátory vážia 350 kg a auto váži celkom 1 500 kg. Spotreba energie je približne **20 kWh na 100 km.** [www.think.no](http://www.think.no)

Electric Smart Car – „Elektrická verzia je poháňaná motorom s výkonom 40 koní (30 kW), na jedno nabitie prejde 70 míľ maximálnou rýchlosťou 70 míľ za hodinu.



Obrázok 20.37 Fotografia:  
[www.think.no](http://www.think.no)



Nabíja sa pomocou štandardnej elektrickej prípojky a cena nabitia je 1,2 libry. Produkuje tak emisie 60 g/km CO<sub>2</sub> z elektrárne [benzínovým ekvivalentom je auto Smart: 116 g CO<sub>2</sub>/km.] Plné nabitie zaberie približne osem hodín, ale akumulátor možno nabiť z 80 % vybitia na 80 % nabitia za približne tri a pol hodiny.“ [www.whatcar.com/newsarticle.aspx?NA=226488]

Berlingo Electricque 500E – mestská dodávka (obr. 20.20). Má 27 nikel-kadmiových akumulátorov a 28 kW motor. Dokáže previezť 500 kg. Maximálna rýchlosť: 100 km/h; dojazd: 100 km. Spotreba energie: **25 kWh na 100 km**. (Údaje láskavo poskytol majiteľ Berlinga.) [4wm2w4].

i MiEV – toto elektrické auto by malo mať dojazd 160 km s 16 kWh akumulátorom, t. j. **10 kWh na 100 km** – lepšie ako G-Wiz. Zatiaľ čo je ťažké natlačiť dvoch dospelých Európanov do auta G-Wiz, prototyp Mitsubishi má štvoro dverí a štyri pohodlné sedadlá (obr. 20.38). [658ode].

EV1 – dvojsedadlový EV1 od General Motors má dojazd od 120 do 240 km na jedno nabitie nikel-kovových hybridných akumulátorov s 26,4 kWh. To je spotreba medzi **11 a 22 kWh na 100 km**.

Lightning (obr. 20.39) – má štyri 120 kW bezkomutátorové motory, na každom kolese jeden, s rekuperáciou a rýchlonabíjateľnými lítium-titánovými akumulátormi Nanosafe. Kapacita 36 kWh umožňuje dojazd 200 míľ (320 km). To je **11 kWh na 100 km**.

Aptera – toto fantastické auto v tvare ryby je pre dvoch ľudí, s energetickými nákladmi **6 kWh na 100 km**. Koeficient odporu 0,11 (obr. 20.40). Vytvárané sú elektrické a hybridné modely.

Loremo – podobne ako Aptera, Loremo (obr. 20.41) má malý čelný prierez a malý koeficient odporu (0,2) a bude k dispozícii v benzínovej a elektrickej verzii. Má dve sedadlá pre dospelých a dve pre deti, otočené proti smeru jazdy. Loremo bude mať lítium-iónové akumulátory a spotreba by mala byť **6 kWh na 100 km**, s maximálnou rýchlosťou 170 km/h a dojazdom 153 km. Má hmotnosť 600 kg.

eBox – má lítium-iónové akumulátory s kapacitou 35 kWh a váhou 280 kg; dojazd je 140 - 180 míľ. Motor má maximálny výkon 120 kW a dosahuje trvalý výkon 50 kW. Spotreba energie: **12 kWh na 100 km**.

Ze-0 – päťsedadlové, päťdverové auto. Maximálna rýchlosť: 50 míľ za hodinu. Dojazd: 50 míľ. Váha vrátane akumulátorov: 1 350 kg. Olovené akumulátory s kapacitou 18 kWh. Motor: 15 kW. Spotreba energie: **22,4 kWh na 100 km**.

e500 – talianske auto podobné Fiatu, s dvomi dverami a štyrmi sedadlami. Maximálna rýchlosť: 60 míľ/h. Dojazd v meste: 75 míľ. Lítium-iónový polymérový akumulátor.

My Car – MyCar je auto s talianskym dizajnom a dvomi sedadlami. Maximálna rýchlosť: 40 míľ/h. Maximálny dojazd: 60 míľ. Olovený akumulátor.



Obrázok 20.38 i MiEV od spoločnosti Mitsubishi Motors má 47 kW motor, hmotnosť 1 080 kg, maximálnu rýchlosť 130 km/h.



Obrázok 20.39 Lightning (Blesk): **11 kWh na 100 km**. Fotografia: www.lightningcompany.co.uk.



Obrázok 20.40 Aptera: **6 kWh na 100 km**. Fotografia: www.aptera.com.



Obrázok 20.41 Loremo: **6 kWh na 100 km**. Fotografia: evolution.loremo.com.



Obrázok 20.42 TREV: 6 kWh na 100 km. Fotografia: [www.unisa.edu.au](http://www.unisa.edu.au).



Obrázok 20.43 Toyota RAV4 EV. Fotografia: Kenneth Adelman [www.solarwarrior.com](http://www.solarwarrior.com).



Obrázok 20.44 Vectrix: 2,75 kWh na 100 km. Fotografia: [www.vectrix.com](http://www.vectrix.com).

Mega City – dvojsedadlové auto s maximálnym trvalým výkonom 4 kW a maximálnou rýchlosťou 40 míľ/h: **11,5 kWh na 100 km**. Bez nákladu (s akumulátormi) má hmotnosť 725 kg. Olovené akumulátory majú kapacitu 10 kWh.

Xebra – podľa výrobcu má dojazd 40 km po nabití 4,75 kWh. Spotreba energie: **12 kWh na 100 km**. Maximálna rýchlosť je 65 km/h. Olovené akumulátory.

TREV – dvojsedadlové auto na obnoviteľnú energiu (TREV) je prototyp vyvinutý na University of South Australia (obr. 20.42). Toto trojkolesové auto má dojazd 150 km, maximálnu rýchlosť 120 km/h, hmotnosť 300 kg a lítium-iónové polymérové akumulátory s hmotnosťou 45 kg. V priebehu uskutočneného 3 000 km výletu predstavovala spotreba energie **6,2 kWh na 100 km**.

Venturi Fetish – má 28 kWh akumulátor, s hmotnosťou 248 kg. Auto má hmotnosť 1 000 kg. Dojazd 160 - 250 km. To je **11 - 17 kWh na 100 km**. [www.venturifetish.fr/fetish.html](http://www.venturifetish.fr/fetish.html).

Toyota RAV4 EV – toto auto, plne elektrické mini SUV, predávala Toyota v rokoch 1997 až 2003 (obr. 20.43). RAV4 EV má 24 12-voltových 95Ah NiMH akumulátorov. Sú schopné uložiť 27,4 kWh energie; dojazd 130 - 190 km. To je spotreba energie **14 - 21 kWh na 100 km**. RAV4 EV bolo obľúbené medzi policajtní v Jersey.

Phoenix SUT – päťsedadlové „športové vozidlo“ vyrobené v Kalifornii. Dojazd má „až do 130 míľ“ za pomoci súboru 35 kWh lítium-iónových akumulátorov. (To je 17 kWh na 100 km.) Akumulátory je možné nabíť v špeciálnych zásuvkách za 10 minút. [www.gizmag.com/go/7446/](http://www.gizmag.com/go/7446/).

Dodávka Modec – odvezie dve tony na vzdialenosť 100 míľ. Má hmotnosť 3 000 kg. [www.modec.co.uk](http://www.modec.co.uk).

Smith Ampère – menšia dodávka, 24 kWh lítium-iónové akumulátory. Dojazd „viac ako 100 míľ“. [www.smithelectricvehicles.com](http://www.smithelectricvehicles.com).

Elektrický minibus od [www.smithelectricvehicles.com](http://www.smithelectricvehicles.com) – 40 kWh kolekcia lítium-iónových akumulátorov. 90 kW motor s rekuperáciou. Dojazd „až do 100 míľ“. 15 sedadiel. Hmotnosť auta je 3 026 kg. Užitočná nosnosť 1 224 kg. To znamená najlepšiu spotrebu auta **25 kWh na 100 km**. Pri plnom obsadení vozidla dokáže prevážať ľudí pri neuveriteľných **2 kWh na 100 o-km**.

Elektrický autobus – autobus Tunder Sky má dojazd 180 míľ a čas nabíjania tri hodiny. [www.thunder-sky.com](http://www.thunder-sky.com).

Elektrické skútre – Vectrix patrí medzi výborné skútre (obr. 20.44). Jeho akumulátor (nikel-metal hydridový) má kapacitu 3,7 kWh, dojazd až do 68 míľ pri rýchlosti 25 míľ za hodinu (40 km/h), nabije sa za dve hodiny zo štandardnej elektrickej zásuvky. To znamená 110 km za 3 kWh, alebo **2,75 kWh na 100 km**. Maximálna rýchlosť: 62 míľ za hodinu (100 km/h). Má hmotnosť 210 kg a maximálny výkon je 20 kW. [www.vectrix.com](http://www.vectrix.com).

„Oxygen Cargo“ je menší skúter. Má hmotnosť 121 kg, dojazd 38 míľ a nabije sa za 2 - 3 hodiny. Maximálny výkon 3,5 kW, maximálna rýchlosť je 28 míľ za hodinu. Má dva lítium-iónové akumulátory a rekuperáciu. Dojazd je možné zvýšiť pridaním ďalších akumulátorov, ktoré uložia približne 1,2 kWh, pričom každý má hmotnosť 15 kg. Spotreba energie je: **4 kWh na 100 km**.

- 129 *hustota uskladnenej energie vo forme stlačeného vzduchu je iba okolo 11 až 28 Wh na kg.* Teoretický limit, ktorý predpokladá ideálnu izotermickú kompresiu: ak sa 1 m<sup>3</sup> okolitého vzduchu pomaly stlačí do 5-litrovej nádrže pri 200 baroch, množstvo uloženej potenciálnej energie predstavuje 0,16 kWh v 1,2 kg vzduchu. V skutočnosti váži 5-litrová nádoba pri takomto tlaku približne 7,5 kg, ak je vyrobená z ocele, alebo 2 kg, ak je vyrobená z kevlaru alebo uhlíkového vlákna a celková energetická hustota dosahuje hodnoty medzi 11 - 28 Wh na kg. Teoretická energetická hustota sa nemení, bez ohľadu na objem nádrže.
- 130 *...Arnolda Schwarzeneggera, za Hummer na vodíkový pohon.* Nature 438, 24. november 2005. Nehovorím, že vodík nikdy nebude užitočný pre dopravu, ale dúfal by som, že taký renomovaný časopis ako Nature bude informovať o vodíkovej technológii s určitým kritickým nadhľadom, nie iba s eufóriou.

*Vodík a palivové články nie sú tou správnou cestou. Rozhodnutie Bushovej administratívy a štátu Kalifornia nasledovať vodíkovú diaľnicu, je tým najhorším rozhodnutím posledných rokov.*

James Woolsey, riaditeľ Rady americkej nadácie pre čisté palivá, 27. november 2007.

V septembri 2008 časopis *The Economist* napísal: „Takmer nikto nespochybuje, že... väčšinu áut budú nakoniec poháňať iba akumulátory.“ Na druhej strane, ak chcete počuť viac od zástancov dopravy na báze vodíka, pozrite stránky Inštitútu Rocky Mountains o „Hyperaute“ na [www.rmi.org/hypercar/](http://www.rmi.org/hypercar/).

- *Z projektu Clean Urban Transport for Europe vyplynulo, že autobusy poháňané vodíkom spotrebovali o 80 až 200% viac energie ako bežný autobus s naftovým motorom.* Zdroj: CUTE (2006); Binder a kol. (2006).
- *Na pohon vozidla poháňaného vodíkom firmy BMW je potrebných až 3-krát viac energie, ako v prípade priemerného európskeho auta.* Polovica batožinového priestoru BMW „Hydrogen 7“ zaberá 170 litrová vodíková nádrž s kapacitou 8 kg vodíku, umožňujúca dojazd 200 km [[news.bbc.co.uk/1/hi/business/6154212.stm](http://news.bbc.co.uk/1/hi/business/6154212.stm)]. Výhrevnosť vodíka je 39 kWh na kg a pri najlepšom dostupnom spôsobe výroby vodíka sa na to spotrebuje 63 kWh na kg (52 kWh zo zemného plynu a 11 kWh elektriny) (CUTE, 2006). Takže naplnenie 8 kg nádrže má energetické náklady 508 kWh; a ak táto nádrž naozaj dopraví auto na vzdialenosť 200 km, potom sú energetické náklady **254 kWh na 100 km**.

*Hydrogen 7 a jeho príbuzní s vodíkovými palivovými článkami sú v mnohých ohľadoch jednoducho iba pyšnou zábavou.*

David Talbot, MIT Technology Review  
<http://www.technologyreview.com/Energy/18301/>

- 131 *Vodíkové auto Honda, FCX Clarity, má hmotnosť 1 625 kg, uskladní 4,1 kg vodíka pri tlaku 345 barov a mala by dosiahnuť dojazd 280 míľ, teda 57 míľ (91 km) na jeden kg vodíku (91 km) pri kombinovanej jazde v meste a mimo mesto [czjjo], [5a3ryx]. Ak použijeme hore uvedené náklady na výrobu vodíka s predpokladom, že hlavný zdroj pochádza zo zemného plynu, energetické náklady tohto auta sú **69 kWh na 100 km**.*

*Honda môže oklamať novinárov, aby si mysleli, že vodíkové autá majú „nulové emisie“, ale, nanešťastie, podnieť oklamať nemôže.*

Merrick Godhaven

- 132 *Lítium-iónový akumulátor tvorí z 3% lítium.* Zdroj: Fisher a kol. (2006).
- *Špecialista na lítium R. Keith Evans hovorí, že „obavy o dostupnosť lítia... sú nepodložené.“* – Evans (2008).
- 133 *Dve holandské lode známe ako „ekonomické dvojčičky“.* [www.ssmaritime.com/rijndam-maasdam.htm](http://www.ssmaritime.com/rijndam-maasdam.htm).  
QE2: [www.qe2.org.uk](http://www.qe2.org.uk).
- 134 *Magnetický vlak Transrapid.* <http://www.transrapid.de>.



Obrázok 21.1 Mój dom.

## 21 Lepšie vykurovanie

V poslednej kapitole sme sa naučili, že elektrifikácia dokáže znížiť energetickú spotrebu dopravy na jednu pätinu súčasnej úrovne, a že verejná doprava a bicyklovanie môžu byť približne 40-násobne energeticky účinnejšie ako jazda autom. Ako je to s vykurovaním? Aký druh energetických úspor môžu priniesť technológie alebo zmena v správaní?

Energiu potrebnú na vykurovanie budovy určuje aritmetická kombinácia troch veličín:

$$\text{energia} = \frac{\text{priemerný rozdiel teploty} \times \text{tepelná priepustnosť budovy}}{\text{účinnosť vykurovacieho systému}}$$

Dovoľte mi vysvetliť tento vzorec (ktorý sa detailne rozoberá v kapitole E) na príklade. Bývam v trojizbovom dvojdome, postavenom v roku 1940 (obr. 21.1). **Priemerný rozdiel teploty** medzi vnútrajškom a vonkajškom domu závisí od nastavenia termostatu a od počasia. Ak je termostat trvalo nastavený na 20 °C, priemerný rozdiel teploty by mohol byť 9 °C. **Tepelná priepustnosť budovy** opisuje, ako rýchlo teplo uniká cez steny, okná a netesnosti v závislosti od rozdielu teploty. Tepelná priepustnosť sa niekedy nazýva súčiniteľ straty tepla. Meria sa v kWh za deň na stupeň rozdielu teploty. V kapitole E som vypočítal, že tepelná priepustnosť môjho domu v roku 2006 bola 7,7 kWh/d/°C. Výsledok

$$\text{priemerný rozdiel teploty} \times \text{priepustnosť budovy}$$

je rýchlosť, akou teplo uniká z domu vedením a vetraním. Napríklad, ak je priemerný rozdiel teploty 9 °C, potom je tepelná strata

$$9 \text{ °C} \cdot 7,7 \text{ kWh/d/°C} \approx 70 \text{ kWh/d.}$$

Nakoniec, pre výpočet potrebnej energie vydělíme túto tepelnú stratu účinnosťou vykurovacieho systému. V mojom dome mám plynový kotol s účinnosťou 90 %, takže zistíme, že:

$$\text{energia} = \frac{9 \text{ °C} \cdot 7,7 \text{ kWh/d/°C}}{0,9} = 77 \text{ kWh/d.}$$

To je viac ako spotreba na vykurovanie, ktorú sme vypočítali v kapitole 7. Väčšia je pre dve hlavné príčiny. Po prvé, vzorec predpokladá, že všetko teplo dodáva kotol, zatiaľ čo v skutočnosti sa teplo získava aj tepelnými ziskami od obyvateľov domu, spotrebičov, slnečného žiarenia. Po druhé, v kapitole 7 sme predpokladali, že dom bol vykurovaný na 20 °C iba v dvoch miestnostiach; mať pri tejto teplote celý dom vyžaduje viac tepla.

Dobre, ako môžeme znížiť príkon potrebný na vykurovanie? Existujú tri zjavné spôsoby, ako to doceliť.

1. Znížením **priemerného rozdielu teploty**. To môžeme dosiahnuť tak, že nastavíme termostat na nižšiu teplotu (alebo ak máte kamarátov na vysokých postoch, tak zmenou počasia).
2. Znížením **tepelnej priepustnosti budovy**. To je možné dosiahnuť zlepšením tepelnej izolácie budovy, napr. trojité okná, zabezpečenie proti prievanu, zaizolovanie podkrovia chlpatými dekami – alebo, a to je radikálnejšie riešenie, budovu zbúrať a vymeniť ju za budovu s lepšou izoláciou; alebo možno bývať v budove s menším priestorom na jedného obyvateľa (tepelná priepustnosť býva väčšia, ak je väčší pôdorys, pretože sa zároveň zvyšuje plocha vonkajších stien, okien a strechy).
3. Zvýšením **účinnosti vykurovacieho systému**. Mohli by ste si myslieť, že 90 % sa už nedá prekonať, ale v skutočnosti to môže byť oveľa viac.

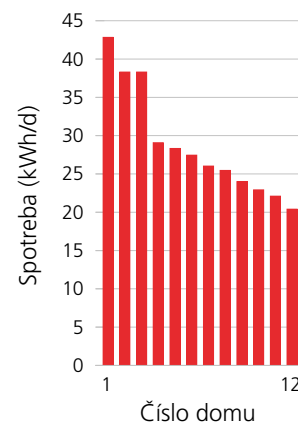
### Termostat: „cool“ technológia

Keď príde na hodnotnú technológiu za málo peňazí, je veľmi ťažké poraziť termostat (za pomoci vlnených svetlov). Pritiahnete ho a vaša budova spotrebuje menej energie: Zázrak! Ak vo Veľkej Británii znížite nastavenie termostatu o 1 °C, tepelná strata klesne o 10 %. Pri znížení termostatu z 20 °C na 15 °C sa znížia tepelné straty takmer o polovicu. Vďaka občasným tepelným ziskom budú úspory energie na vykurovanie dokonca ešte väčšie, ako by sme dosiahli iba týmto znížením tepelných strát.

Nanešťastie má táto obdivuhodná technológia šetrenia svoje vedľajšie účinky. Pre niektorých ľudí je zníženie teploty na termostate zmenou v správaní, čím nie sú nadšení. Neskôr sa budem venovať tomu, ako obísť takúto zmenu v životnom štýle. Ako dôkaz toho, že „najdôležitejšou inteligentnou zložkou budovy s inteligentným vykurovaním je jej obyvateľ“, si medzitým pozrite údaje zo štúdie od Carbon Trustu na obrázku 21.2, ktorá sledovala spotrebu energie v dvanástich rovnakých moderných domoch. Táto štúdia nám umožňuje pozrieť sa na rodinu pri čísle 1, ktorá má dvojnásobnú spotrebu tepla v porovnaní s pani a pánom Zababušenými pri čísle 12. Treba však dávať pozor na čísla: rodina číslo 1 spotrebúva 43 kWh za deň. Ak je to šok, počkajte – nevypočítal som pred chvíľkou, že môj dom môže spotrebovať ešte viac? Naozaj, moja priemerná spotreba plynu od roku 1993 do roku 2003 bola niečo cez 43 kWh za deň (obr. 7.10, str. 53), a to som si myslel, že patrí medzi tých skromnejších! Problém spočíva v dome. Všetky moderné domy v štúdii Carbon Trust mali tepelnú priepustnosť budovy 2,7 kWh/d/°C, ale môj dom mal túto priepustnosť 7,7 kWh/d/°C! Ľudia, ktorí žijú v tepelne priepustných domoch...

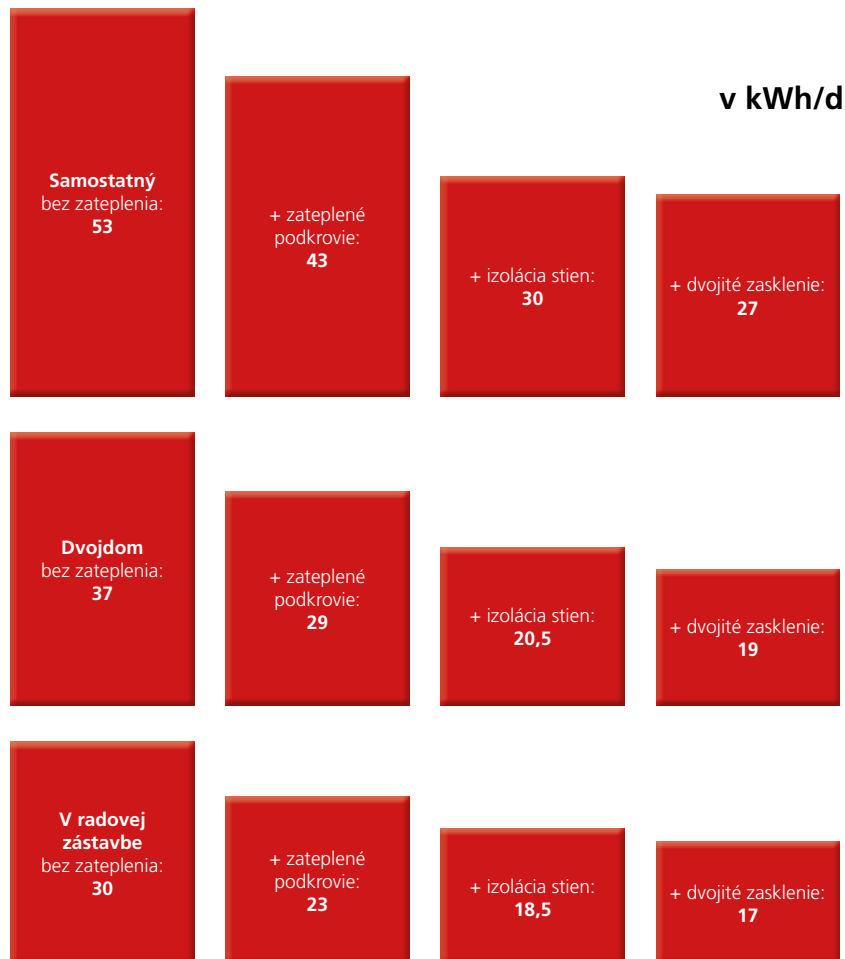
### Vojna s priepustnosťou

Čo je možné spraviť s tepelne priepustnými starými domami bez toho aby sme ich zbúrali? Obrázok 21.3 ukazuje výpočty tepla potrebného na vykurovanie v starých samostatných domoch alebo dvojdomoch, alebo domoch v radovej zástavbe.



Obrázok 21.2 Skutočná spotreba tepla v 12 rovnakých domoch s rovnakým systémom vykurovania. Všetky domy mali podlahovú plochu 86 m<sup>2</sup> a boli navrhnuté na rovnakú tepelnú priepustnosť budovy 2,7 kWh/d/°C. Zdroj: Carbon Trust (2007).

Obrázok 21.3 Odhad energie potrebnej na vykurovanie priestoru pre rozličné typy domov vo Veľkej Británii. Podľa Edena a Bendin-  
ga (1985).

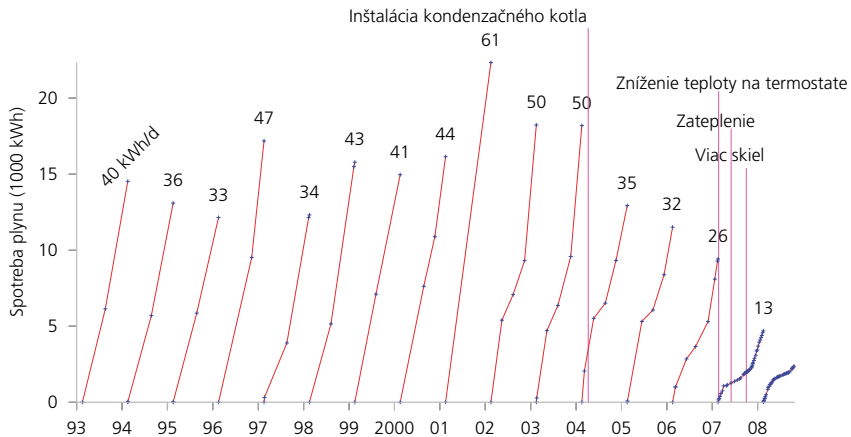


Ak pridáme izoláciu podkrovia a stien, zníži to tepelnú stratu v priemere o 25 %. Vďaka príležitostným tepelným ziskom sa toto zníženie o 25 % prejaví ako 40% zníženie v spotrebe energie na vykurovanie.

Podme sa pozrieť, ako to môže fungovať v praxi.

### Rozbor problému na príklade

Svoj dom som vám predstavil na strane 53. Pozrime sa na tento príbeh. V roku 2004 som nainštaloval kondenzačný kotol, ktorým som nahradil starý plynový kotol. (Kondenzačné kotly využívajú tepelný výmenník na úplné ochladenie spalín). Zároveň som odstránil zásobník na teplú vodu (keďže teplú vodu pripravujem len podľa potreby), a dal som termostaty na všetky vykurovacie telesá v spálňach. Spolu s novým kondenzačným kotlom prišiel aj nový regulátor, ktorý umožňuje nastaviť rôznu teplotu vody na vykurovanie počas dňa. S týmito zmenami klesla moja spotreba z priemerných 50 kWh/d na približne 32 kWh/d.



Obrázok 21.4 Moja spotreba plynu, každý rok od roku 1993 do roku 2007. Každá čiara ukazuje celkovú spotrebu počas roka v tis. kWh. Číslo na konci každého roka je priemerná merná spotreba pre daný rok v kWh za deň. Modré body znázorňujú merania. Je zrejmé, že čím častejšie odčítavam hodnoty z merača, tým nižšiu mám spotrebu!

Toto zníženie z 50 na 32 kWh/d je pomerne uspokojivé, ale nie je dostatočné, ak je cieľom znížiť stopu fosílnych palív pod jednu tonu CO<sub>2</sub> za rok. 32 kWh/d získaných z plynu zodpovedá viac ako 2 tonám CO<sub>2</sub> za rok.

V roku 2007 som začal dávať väčší pozor na svoju spotrebu energie. Nechal som si vyplniť tepelnoizolačným materiálom dutiny v stenách a zlepšil som aj izoláciu podkrovia. Nahradil som zadné vchodové dvere s jedným sklom za dvere s dvojsklom a pridal som ďalšie dvere s dvojsklom na prednú terasu (obr. 21.6). Ale najdôležitejšie zo všetkého bolo, že som začal dávať väčší pozor na nastavenie mojich termostátov. Táto pozornosť spôsobila, že som svoju spotrebu plynu znížil ešte o polovicu. Posledná ročná spotreba bola iba 13 kWh/d!

Pretože táto prípadová štúdia je chaotická zmes úprav budovy a zmien správania, je ťažké určiť, ktoré zmeny boli najdôležitejšie. Podľa mojich výpočtov (v kapitole E) znížili vylepšenia izolácie tepelnú priepustnosť budovy o 25 %, zo 7,7 kWh/d/°C na 5,8 kWh/d/°C. To je stále ešte horšie, ako ktorýkoľvek moderný dom. Je frustrujúco ťažké znižovať tepelnú priepustnosť budovy v už postavenom dome!

Takže môj hlavný tip je inteligentné riadenie termostatu. K akým hodnotám by sme sa mali priblížiť pri nastavení termostatu? Dnes sa zdá, že mnoho ľudí považuje 17 °C za príliš málo. Hoci skutočnosť je taká, že priemerná teplota v zime v britských domoch v roku 1970 bola 13 °C! To, ako človek vníma svoju teplotu, závisí od toho, čo práve robí a čo robil poslednú hodinu. Moje odporúčanie znie: *nerozmýšľajte o tom, ako nastaviť termostat*. Lepšie, ako nastaviť termostat na jednu teplotu, je nastaviť ho na veľmi nízku teplotu po väčšinu času (povedzme 13 alebo 15 °C) a zvýšte ju dočasne, ak sa vám zdá, že vám je zima. Je to ako so svetlami v knižnici. Ak sa sami seba opýtate, „aká je správna hladina osvetlenia v policiach na knihy“, potom nepochybne odpoviete, „dostatočné svetlo na to, aby sa dali čítať nadpisy kníh“, a budete mať celý čas zapnuté jasné svetlá.



Obrázok 21.5 Tepelná izolácia stien z dutých tehál.



Obrázok 21.6 Nové vchodové dvere.

Ale tá otázka predpokladá, že musíme nastaviť nemennú hladinu svetla; nie je to však tak. Môžeme prispôbiť zapínanie svetiel tak, aby ich mohol ovládať čitateľ a nastaviť automatické vypínanie po určitom čase. Ani termostaty nemusia byť celý čas nastavené na 20 °C.

Kým opustíme tému nastavovania termostátov, mal by som spomenúť klimatizáciu. Nerozčuľuje vás, ak uprostred leta vkročíte do budovy, kde je nastavených 18 °C? Títo blázniví správcovia budov vystavujú všetkých teplotu, ktorá by sa im v zime zdala príliš nízka! V Japonsku odporúča vládna smernica „Cool-Biz“, aby bola klimatizácia nastavená na 28 °C (82 °F).

## Lepšie budovy

Ak dostanete šancu postaviť novú budovu, potom existuje veľa spôsobov, ako zabezpečiť nižšiu spotrebu tepla, ako je to v prípade starých budov. Obrázok 21.2 dokazuje, že novšie budovy majú oveľa vyššie štandardy izolácie, ako tie zo 40. rokov. Napriek tomu by tieto štandardy mohli byť ešte vyššie, ako ukazuje kapitola E. Tri kľúčové myšlienky na dosiahnutie najlepších výsledkov sú: (1) zabezpečte si skutočne hrubú izoláciu podlahy, stien, a strechy; (2) zabezpečte, aby bola budova kompletne utesnená s núteným vetraním, ktoré zabezpečí čerstvý vzduch a odstráni vydýchaný a vlhký vzduch. Tepelné výmenníky zabezpečia, že väčšina tepla z odpadového vzduchu vám zostane k dispozícii; (3) snažte sa využiť maximálne množstvo slnečného žiarenia.

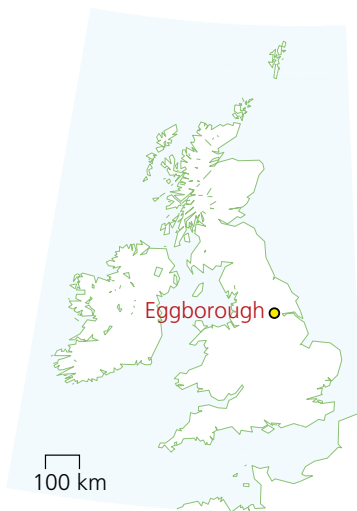
## Energetické náklady tepla

Doteraz sa táto kapitola zameriavala na reguláciu teploty a tepelnú priepustnosť budovy. Teraz obrátíme pozornosť na tretí faktor v rovnici:

$$\text{energia} = \frac{\text{priemerný rozdiel teploty} \times \text{tepelná priepustnosť budovy}}{\text{účinnosť vykurovacieho systému}}$$

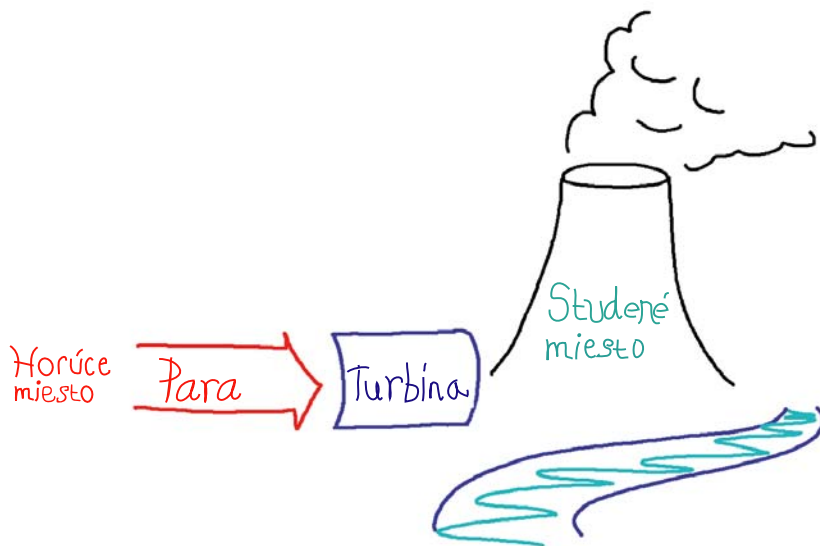
S akou účinnosťou sa dá vyrábať teplo? Môžeme získavať teplo lacno? Dnes zabezpečuje vykurovanie budov vo Veľkej Británii spaľovanie fosílnych palív a zemného plynu v kotloch s účinnosťou v rozsahu 78 - 90 %. Môžeme sa zbaviť fosílnych palív a zároveň dosiahnuť účinnejšie vykurovanie?

Jedna technológia, ktorá by mohla ponúknuť odpoveď na problém vykurovania, sa nazýva kombinovaná výroba elektriny a tepla [combined heat and power – CHP, v SR – kombinovaná výroba elektriny a tepla – KVET, kogenerácia – pozn. prekl.], alebo jej príbuzná, mikro-KVET. Vysvetlím princíp kombinovanej výroby elektriny a tepla, ale dospel som k záveru, že je to nevhodné riešenie, pretože existuje aj lepšia technológia pre vykurovanie, nazývaná tepelné čerpadlá, ktoré opíšem o pár strán ďalej.



Obrázok 21.7 Eggborough nepatrí medzi elektrárne, ktoré sa podieľajú na inteligentnom vykurovaní.

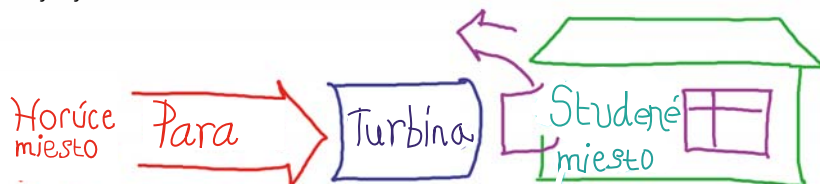




Obrázok 21.8 Ako funguje elektrárň. Musí mať chladné miesto, kde sa zráža para, aby sa zabezpečil chod turbíny. Chladným miestom býva zvyčajne chladiaca veža alebo rieka.

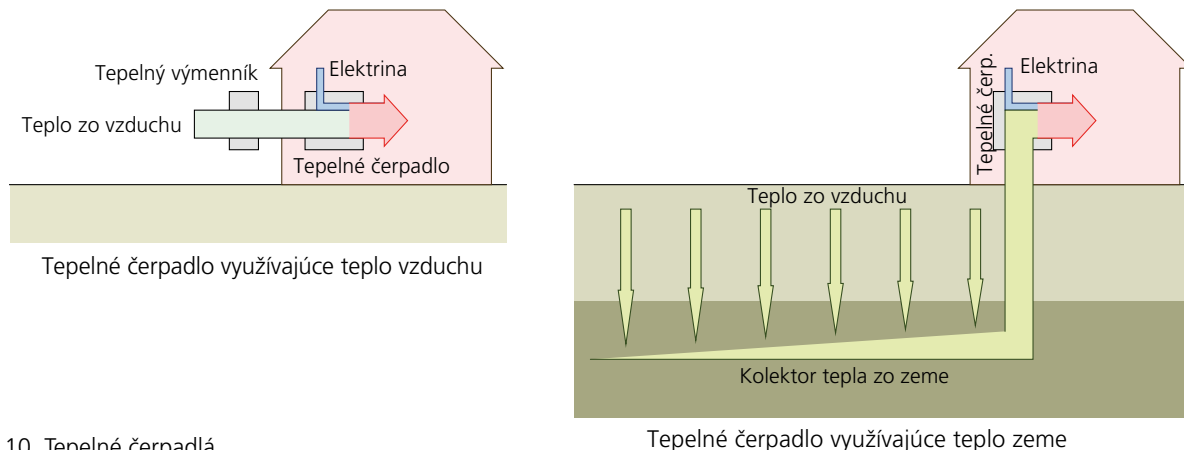
#### Kombinovaná výroba elektriny a tepla (kogenerácia)

Štandardná predstava o klasických veľkých centralizovaných elektrárňach je, že sú príšerne neúčinné, halabala mrhajú teplom, ktoré uniká von komínom a chladiacimi vežami. Tí uvedomelejší rozpoznávajú, že premena tepla na elektrinu si nevyhnutne vyžaduje prenos tepla na chladné miesto (obr. 21.8). To je princíp fungovania tepelných strojov. *Musí* byť prítomné aj chladné miesto. Ale potom sa niekto môže spýtať: nemohli by sme využívať *budovy* ako spôsob chladenia tohto „odpadového“ tepla, namiesto chladiacich veží alebo morskej vody? Táto myšlienka sa nazýva kombinovaná výroba elektriny a tepla alebo kogenerácia a vo veľkom sa využíva v kontinentálnej Európe už desaťročia – v mnohých mestách sú veľké elektrárne integrované do systému centralizovaného zásobovania teplom (CZT). Zástancovia moderného vyhotovenia kogenerácie, teda mikro-KVET, sa domnievajú, že malé elektrárne by mohli vzniknúť v rámci samostatných budov alebo ich skupín a zásobovali by ich teplom a elektrinou, pričom časť elektriny by dodávali do siete.



Obrázok 21.9 Kogenerácia. Systém CZT absorbuje teplo, ktoré by inak skončilo v chladiacej veži.

Určite je niečo pravdy na tom, že Veľká Británia je svojím spôsobom pozadu, čo sa týka CZT a kogenerácie, ale diskusia na túto tému brzdí všeobecná neznalosť čísel a dve špecifické chyby. Po prvé, ak porovnávame rôzne spôsoby používania paliva, používa sa nesprávny ukazovateľ „účinnosti“. Konkrétne ten, ktorý považuje teplo za rovnako hodnotné ako elektrinu.



Obrázok 21.10 Tepelné čerpadlá.

Pravda je taká, že elektrina je cennejšia ako teplo. Po druhé, všeobecne sa predpokladá, že „odpadové“ teplo by sa dalo užitočne zachytiť v klasickej elektrárni *bez zníženia výroby elektriny*. Toto bohužiaľ nie je pravda, ako nám ukážu čísla. Dodávanie využiteľného tepla pre zákazníka vždy znižuje do určitej miery množstvo vyrobenej elektriny. Skutočné celkové zisky kogenerácie sú často oveľa nižšie, ako by vychvaľovanie tejto technológie naznačovalo.

Poslednou prekážkou v racionálnej debata o kogenerácii je pomerne nový mýtus, že decentralizácia technológie ju akýmsi spôsobom robí zelenšou. Takže, zatiaľ čo veľké centralizované fosílné elektrárne sú „zlé“, fliačky miestnych mikroelektrární sú naplnené božskou dobrotou. Ak je v skutočnosti myšlienka decentralizácie dobrá, potom by sa to „malé je krásne“ malo prejavíť aj v číslach. Decentralizácia by mala byť schopná stáť na vlastných nohách. Ale skutočné čísla ukazujú, že *centralizovaná* výroba elektriny má mnoho výhod, tak ekonomických, ako aj energetických. Iba v prípade veľkých budov sa oplatí miestna výroba, pričom tento prospech predstavuje približne 10 % alebo 20 %.

Cieľom vlády je zabezpečiť rast kogenerácie na 10 GW elektrického výkonu do roku 2010, ale domnievam sa, že takýto rast založený na spaľovaní plynu je chybný. Takáto kogenerácia nie je zelená: spotrebúva fosílnu palivo a predurčuje nás k jeho pokračujúcemu používaniu. Ak vieme, že tepelné čerpadlá sú lepšie, domnievam sa, že by sme mali preskočiť cez kombinovanú výrobu elektriny a tepla pomocou plynu a okamžite začať využívať tepelné čerpadlá.

### Tepelné čerpadlá

Tak ako CZT a KVET, aj tepelné čerpadlá sa často využívajú v kontinentálnej Európe, ale zriedkavo vo Veľkej Británii. Tepelné čerpadlá sú vlastne obrátene chladničky. Skúste chytiť zadnú stranu vašej chladničky: je *teplá!* Chladnička presúva teplo z jedného miesta (zvnútra) na druhé (na zadnú stranu).

Jedným zo spôsobov vyhrievania budovy je otočiť chladničku naopak – dať jej *vnútrajšok* do záhrady, čím sa ochladí, a nechať jej zadnú časť vo vašej kuchyni, čím sa dom ohreje. Čo nie je zrejme na tejto bláznivej myšlienke, je to, že ide o veľmi účinný spôsob vyhrievania domu. Na každý kilowatt výkonu, ktorý sa odoberie z elektrickej siete, dokáže obrátená chladnička čerpať tri kilowatty tepla zo záhrady, takže do domu sa celkovo dodávajú 4 kilowatty. Tepelné čerpadlá sú asi štvornásobne účinnejšie ako klasické elektrické kozuby. Zatiaľ čo účinnosť elektrického kozuba je 100 %, v prípade tepelného čerpadla je to 400 %. Účinnosť tepelného čerpadla sa zvyčajne nazýva *výkonové číslo* alebo COP. Ak je účinnosť 400 %, COP má hodnotu 4.

Tepelné čerpadlo je možné nastaviť rôznymi spôsobmi (obr. 21. 10). Môže chladiť *vzduch* vo vašej záhrade s použitím tepelného výmenníka (obvykle 1 meter vysoká biela debna, obr. 21.11). Vtedy hovoríme o tepelnom čerpadle využívajúcom teplo vzduchu. Alebo môže ochladzovať *zem* [presnejšie pôdu - pozn. prekl.] s použitím veľkých podzemných potrubných kolektorov (dlhých niekoľko desiatok metrov). V tomto prípade hovoríme o tepelnom čerpadle, ktoré využíva teplo zeme. Teplo je možné čerpať aj z riek alebo jazier.

Niektoré tepelné čerpadlá dokážu čerpať teplo v oboch smeroch. Ak tepelné čerpadlo využívajúce teplo vzduchu beží naopak, spotrebúva elektrinu na zohriatie *vonkajšieho* vzduchu a ochladenie vzduchu *vnútri* budovy. Vtedy hovoríme o klimatizácii. Mnohé klimatizácie sú v skutočnosti tepelné čerpadlá, ktoré pracujú presne týmto spôsobom. Tepelné čerpadlá využívajúce teplo zeme tiež dokážu fungovať ako klimatizácia. To isté zariadenie možno použiť na vykurovanie v zime aj na chladenie v lete.

Niekedy ľudia hovoria, že tepelné čerpadlá, ktoré využívajú teplo zeme, využívajú „geotermálnu energiu“, ale nie je to správny názov. Ako sme videli v kapitole 16, geotermálna energia vo väčšine oblastí sveta ponúka iba málo energie na jednotku plochy (približne 50 mW/m<sup>2</sup>). Tepelné čerpadlá s týmto teplom nemajú nič spoločné a je možné používať ich na chladenie aj na vykurovanie. Tepelné čerpadlá jednoducho využívajú zem ako miesto, z ktorého je možné teplo získať alebo ho tam odovzdať. Ak toto teplo pravidelne odčerpávajú, ďalšie dodáva Slnko.

Ešte nám zostávajú v tejto kapitole dve veci. Potrebujeme porovnať tepelné čerpadlá s kogeneráciou. Potom prediskutujeme, aké sú limity tepelných čerpadiel, ktoré využívajú teplo zeme.

### *Tepelné čerpadlá v porovnaní s kogeneráciou*

Až doteraz som si myslel, že kogenerácia je jasná záležitosť. „Je zrejme, že by sme mali využívať odpadové teplo z elektrární na vyhrievanie budov namiesto jeho vháňania do chladiacich veží!“ Keď sa pozrieme pozorne na čísla, ktoré opisujú výkonnosť skutočných KVET systémov, dospel som k záveru, že existujú lepšie spôsoby zásobovania budov teplom a elektrinou.

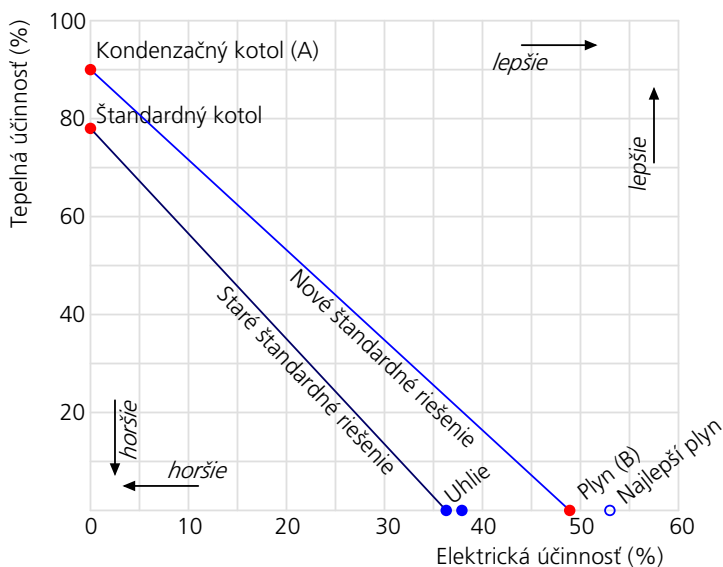


Obrázok 21.11 Vnútorne a vonkajšie časti tepelného čerpadla využívajúceho teplo vzduchu s výkonovým číslom 4. Na vnútornej časti je zavesené guľôčkové pero na porovnanie veľkosti. Jedna z týchto jednotiek firmy Fujitsu dokáže dodať 3,6 kW tepla, pri spotrebe iba 0,845 kW elektriny. Môže fungovať aj opačne zabezpečujúc 2,6 kW chladu pri spotrebe 0,655 kW elektriny.

Vytvorím diagram v troch krokoch. Ten ukáže, koľko elektriny alebo tepla možno získať z chemickej energie. Horizontálna os ukazuje elektrickú účinnosť a vertikálna os tepelnú účinnosť.

### Štandardné riešenie bez KVET

V prvom kroku si ukážeme jednoduché elektrárne a vykurovacie systémy, ktoré dokážu zabezpečiť iba elektrinu alebo iba teplo.



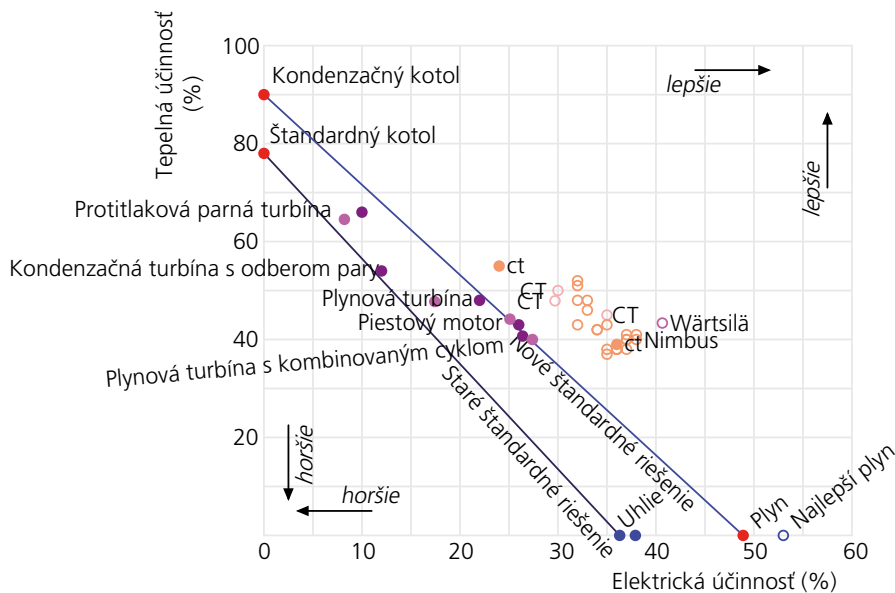
[V skutočnosti je účinnosť kondenzačných kotlov až 95 %, pretože tepla uniká iba 5 % – pozn. prekl.]

Kondenzačné kotly (bod A, vľavo hore) majú účinnosť 90 %, pretože 10 % tepla uniká hore komínom. Dnešné britské plynové elektrárne (krúžok B, vpravo dole) majú účinnosť 49 % pri premene chemickej energie plynu na elektrinu. Ak chcete skombinovať elektrinu a teplo zo zemného plynu, môžete ich získať spaľovaním vhodného množstva plynu v elektrárni a v kotle. Takže nové štandardné riešenie dokáže zabezpečiť rozsah elektrickej a tepelnej účinnosti na čiare A-B výrobou elektriny a tepla s použitím dvoch samostatných zariadení.

Aby sme videli porovnanie s históriou, diagram tiež ukazuje staré štandardné riešenia výroby tepla (klasický nekondenzačný kotol, s účinnosťou 79 %) a štandardné spôsoby výroby elektriny pred niekoľkými desaťročiami (uhľová elektrárň s elektrickou účinnosťou približne 37 %).

### Kombinovaná výroba elektriny a tepla

V ďalšom kroku pridáme do diagramu systém KVET. Ten vyrába z chemickej energie zároveň elektrinu aj teplo.



Každý z plných krúžkov vnútri grafu ukazuje súčasné priemerné výkonnosti systémov KVET vo Veľkej Británii, zoskupených podľa typu. Prázdne krúžky označené ako „CT“ ukazujú výkonnosti KVET v ideálnych podmienkach podľa Carbon Trust; prázdne krúžky označené ako „Nimbus“ označujú parametre podľa výrobcov. Krúžky označené ako „ct“ sú výkonnosti podľa Carbon Trust pre dva skutočné systémy (v nemocnici Freeman a Dome Elisabeth).

Hlavná vec, ktorú si možno všimnúť na diagrame, je, že elektrické účinnosti systémov KVET sú významne nižšie ako účinnosť 49 %, ktorú zabezpečuje nekombinovaný systém – plynové elektrárne. Teplo nie je iba vedľajší produkt zadarmo. Zvyšovanie výroby tepla znižuje výrobu elektriny.

Medzi časté praktiky patrí spojenie dvoch čísel dokopy (účinnosť výroby elektriny a tepla) do jednej „celkovej účinnosti“; napríklad protitlakové parné turbíny vyrábajúce 10 % elektriny a 66 % tepla by mali „účinnosť 76 %“, ale myslím, že ide o zavádzajúce hodnotenie. Podľa takéhoto hodnotenia by bol nakoniec kondenzačný kotol s 90% účinnosťou „účinnnejší“ ako všetky KVET systémy! V skutočnosti je elektrina cennejšia ako teplo.

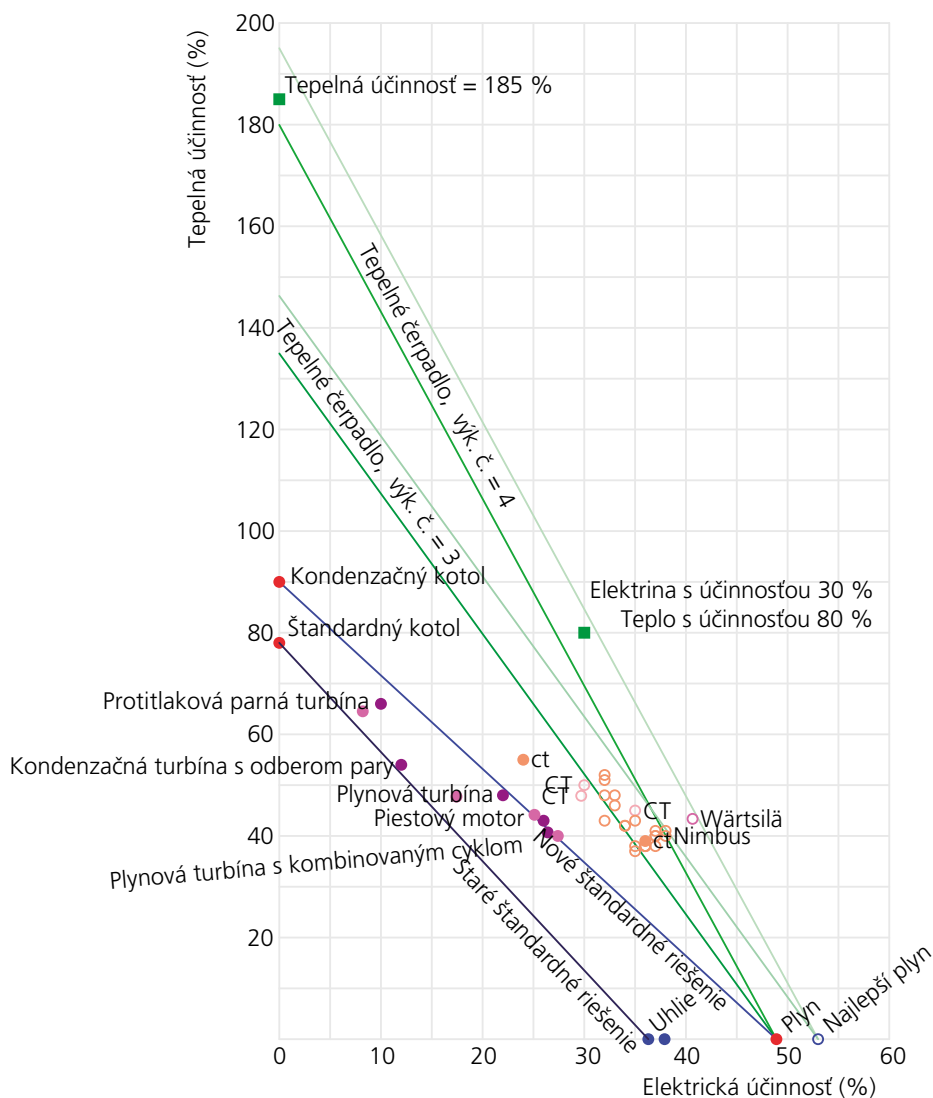
Veľa z KVET bodov na obrázku vychádza výborne v porovnaní so „staršími klasickými spôsobmi“ (výroba elektriny z uhlia a tepla z klasických kotlov). Musíme však mať na pamäti, že táto mierna výnimočnosť má určité nedostatky. KVET systémy dokážu zabezpečiť teplo iba na miesta, ktoré sú pripojené, zatiaľ čo kondenzačné kotly je možné inštalovať kdekoľvek s prístupom k plynu; v porovnaní so staršími klasickými systémami. Systémy KVET nie sú také flexibilné v mixe elektriny a tepla, ktoré vyrábajú. Systém KVET bude najlepšie pracovať, iba ak zabezpečuje určitý mix; toto obmedzenie flexibility vedie k nižšej účinnosti napríklad v čase, keď sa vyrába nadbytok tepla. V typickom dome prichádza väčšina spotreby elektriny v relatívne krátkych intervaloch, bez nejakého vzťahu k spotrebe tepla. Posledný problém

[Systémy mikro-KVET sú ideálnym flexibilným zdrojom elektriny reagujúcim v priebehu niekoľkých sekúnd. Môžu poháňať tepelné čerpadlo, ak nie je potrebná elektrina – pozn. prekl.]

s mikro-KVET systémami je, že ak majú k dispozícii nadbytok elektriny, môžu mať nižšiu účinnosť pri prenose výkonu do siete.

Nakoniec pridáme do diagramu tepelné čerpadlá, ktoré využívajú elektrinu zo siete na čerpanie okolitého tepla do budov.

[31% elektrickú účinnosť a 64% tepelnú účinnosť majú najlepšie kondenzačné kogeneračné zariadenia na trhu – pozn. prekl.]



Strmé zelené čiary ukazujú kombinácie elektriny a tepla, ktorú je možné získať za predpokladu, že tepelné čerpadlá majú výkonové číslo 3 alebo 4. Zároveň, dodatočná elektrina pre tepelné čerpadlá sa vyrába v priemernej alebo v tej najlepšej plynovej elektrárni, pričom umožníme 8 % straty v sieti pri prenose medzi elektrárnou a budovou, kde tepelné čerpadlá teplo čerpajú.

Účinnosť tých najlepších plynových elektrární je 53 %, ak predpokladáme, že fungujú optimálne. (Domnievam sa, že Carbon Trust a Nimbus vychádzali z podobných predpokladov, keď uvádzali čísla v diagramoch pre systémy KVET.) V budúcnosti budú tepelné čerpadlá pravdepodobne ešte lepšie, ako predpokladám. V Japonsku sú dnes, vďaka dobrej legislatíve podporujúcej zvyšovanie účinnosti, dostupné tepelné čerpadlá s výkonovým číslom 4,9.

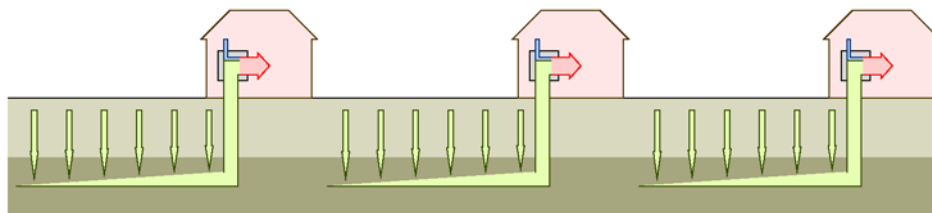
Všimnite si, že tepelné čerpadlá poskytujú systém, ktorý môže byť „účinný na viac ako 100 %“. Napríklad „najlepšia“ plynová elektrárňa, ktorá dodáva elektrinu tepelnému čerpadlu, môže zabezpečiť kombináciu 30 % účinnej elektriny a 80 % účinného tepla s „celkovou účinnosťou“ 110 %. Žiadny z KVET systémov by takúto účinnosť nedosiahol.

Dovoľte mi to objasniť. Tepelné čerpadlá majú úžasnú účinnosť v porovnaní s kondenzačnými kotlami aj v prípade, ak tepelné čerpadlá poháňa elektrina vyrobená spaľovaním zemného plynu. Ak chcete vykurovať veľa budov zemným plynom, môžete inštalovať kondenzačné kotly s „účinnosťou 90 %“, alebo by ste mohli poslať ten istý plyn do novej elektrárne a vybaviť všetky budovy tepelnými čerpadlami, ktoré by poháňala elektrina z plynu; účinnosť druhého riešenia by sa pohybovala niekde v rozsahu 140 až 185 %. Nie je nutné kopať v záhrade veľké diery a inštalovať podlahové kúrenie, aby ste využili výhody tepelných čerpadiel; najlepšie tepelné čerpadlá využívajúce teplo vzduchu (a ktoré potrebujú iba malú vonkajšiu debnu, podobne ako klimatizácia) zabezpečia teplú vodu pre normálne vykurovacie telesá s výkonovým číslom nad 3. Tepelné čerpadlá, ktoré využívajú teplo vzduchu na obrázku 21.11 (str. 137), dodávajú teplý vzduch priamo do kancelárie.

Môj záver preto znie, že kombinovaná výroba elektriny a tepla, hoci to vyzerá ako dobrý nápad, pravdepodobne nie je ten najlepší spôsob, ako vykurovať budovy a vyrábať elektrinu zo zemného plynu za predpokladu, že môžeme vybaviť budovy tepelnými čerpadlami. Riešenia za pomoci tepelných čerpadiel majú ďalšie výhody, ktoré treba vyzdvihnúť: tepelné čerpadlá je možné umiestniť všade tam, kde je prívod elektriny. Fungujú na elektrinu odkiaľkoľvek, preto fungujú aj v prípade, že plyn sa minie, alebo jeho cena prudko vzrastie. Tepelné čerpadlá sú flexibilné: môžeme ich vypnúť a zapnúť podľa potrieb obyvateľov domu.

Zdôrazňujem, že toto kritické porovnanie neznamená, že KVET systém je vždy horšia voľba. Tu som porovnával spôsoby vykurovania obyčajných budov, ktoré potrebujú iba teplo na nízkej teplotnej úrovni. KVET je možné využiť na dodávku tepla na vysokej teplotnej úrovni pre priemyselných odberateľov (napríklad pri 200 °C). V takýchto podmienkach tepelné čerpadlá pravdepodobne neobídu lepšie, pretože ich výkonové číslo by bolo nižšie.

Obrázok 21.12 Ako natesno môžeme umiestniť tepelné čerpadlá, ktoré využívajú teplo zeme?



### Limity rastu (tepelných čerpadiel)

Pretože teplota pôdy pár metrov pod povrchom je niekde blízko 11 °C, či už v lete alebo v zime, pôda predstavuje teoreticky lepšie miesto pre odčerpávanie tepla ako vzduch, ktorý môže mať cez zimu o 10 alebo 15 °C menej ako pôda. Špecialisti na tepelné čerpadlá preto odporúčajú zvoliť si radšej čerpadlá využívajúce teplo zeme ako čerpadlá využívajúce teplo zo vzduchu. (Tepelné čerpadlá fungujú menej účinne pri väčšom teplotnom rozdieli.)

Na druhej strane zem nepredstavuje neobmedzený zdroj tepla. Teplo sem musí odniekaľ prísť a zem nie je veľmi dobrý tepelný vodič. Ak odobráme teplo príliš rýchlo, zem sa ochladí na teplotu ľadu a výhody tepelných čerpadiel využívajúcich teplo zeme sa stratia.

Vo Veľkej Británii by bol hlavný účel tepelných čerpadiel získať teplo pre budovy počas zimy. Jediný zdroj tohto tepla je Slnko, ktoré teplo v zemi obnovuje jednak priamym žiarením, ale aj vedením vzduchom. Rýchlosť, akou čerpáme toto teplo, musí vyhovovať dvom obmedzeniam: teplota zeme nesmie cez zimu klesnúť príliš nízko a odčerpané teplo v zime sa musí počas leta nahradiť. Ak existuje akékoľvek riziko, že prirodzené obnovovanie tepla v lete nenahradí odber v zime, potom je nutné túto náhradu uskutočniť *aktívne* – napríklad obrátením toku tepla v systéme v lete, čím sa teplo do zeme vráti (a zároveň by sme mali klimatizáciu).

Pozrime sa na čísla. Aký veľký kus zeme potrebuje tepelné čerpadlo, ktoré využíva teplo zeme? Predpokladajme, že máme spoločenstvo s pomerne vysokou hustotou obyvateľstva – povedzme 6 200 ľudí na km<sup>2</sup> (160 m<sup>2</sup> na osobu), teda hustotu typického predmestia vo Veľkej Británii. Môže *každý* používať tepelné čerpadlá bez aktívneho obnovovania tepla v lete? Výpočet v kapitole E (str. 303) dáva predbežnú odpoveď *nie*: ak by sme chceli, aby mohol každý získavať 48 kWh/d na osobu (môj odhad typickej spotreby v zime), zem by sme zmrazili. Aby sme sa tomu vyhli, rýchlosť odčerpávania nesmie prekročiť 12 kWh/d na osobu. Preto, ak chceme používať tepelné čerpadlá, musíme do plánu zahrnúť aj obnovu tepla počas leta. To by bolo možné zabezpečiť prostredníctvom letnej klimatizácie alebo tepla zo slnečných kolektorov na ohrev vody. (Letné slnečné teplo zostane uskladnené v zemi na neskoršie použitie v zime pomocou technológie spoločnosti Drake Landing Solar Community v Kanade [www.dlsc.ca].)

Plocha na osobu	(m <sup>2</sup> )
Bangalore	37
Manhattan	39
Paríž	40
Chelsea	66
Tokio	72
Moskva	97
Taipei	104
Haag	152
San Francisco	156
Singapur	156
Cambridge MA	164
Sydney	174
Portsmouth	213

Tabuľka 21.13 Prehľad plochy na osobu vo vybraných mestských oblastiach.



Prípadne môžeme uvažovať aj o použití čerpadiel využívajúcich teplo vzduchu. Tak dokážeme získať všetko teplo, ktoré potrebujeme – ak budeme mať elektrinu na jeho získavanie. Vo Veľkej Británii neklesajú teploty príliš pod bod mrazu, takže obavy o slabú výkonnosť čerpadiel využívajúcich teplo vzduchu, ktoré sú oprávnené v Severnej Amerike alebo Škandinávii, sa našej krajiny netýkajú.

Môj záver: môžeme znížiť energiu spotrebovanú na vykurovanie? Áno. Môžeme sa zároveň zbaviť fosílnych palív? Áno. Okrem tepelnej izolácie budov a manipulovania s nastavením termostatu – teda tých najjednoduchších možností – by sme mali nahradiť všetky naše ohrievače na fosílnu palivá tepelnými čerpadlami na elektrický pohon; môžeme tak znížiť množstvo spotrebovanej energie na 25 % oproti dnešku. Samozrejme, takýto elektrifikačný plán by vyžadoval viac elektriny. Ale aj v prípade, že by táto elektrina pochádzala z elektrární na plyn, stále by to bol oveľa lepší spôsob vykurovania, ako máme dnes. Tepelné čerpadlá sú istotou budúcnosti, pretože umožňujú vykurovať budovy účinne, za použitia elektriny z akéhokoľvek zdroja.

Odporcovia povedia, že výkonové číslo čerpadiel využívajúcich teplo vzduchu je nízke – iba 2 alebo 3. Ale ich informácia už neplatí. Ak si dáme pozor a kúpime tie najlepšie tepelné čerpadlá, dosiahneme oveľa lepší výsledok. Legislatíva japonskej vlády, prijatá pred desiatimi rokmi, prispela k zvýšeniu účinnosti klimatizácií. Vďaka tomu dnes existujú tepelné čerpadlá využívajúce teplo vzduchu s výkonovým číslom až 4,9; tie dokážu vyrobiť teplú vodu aj ohriať vzduch.

Iná námietka týkajúca sa tepelných čerpadiel znie: „Och, nemôžeme súhlasiť, aby si ľudia obstarali účinné tepelné čerpadlá, pretože ich môžu používať v lete ako klimatizáciu.“ Ale no tak. Nenávidím bezdôvodné používanie klimatizácie ako ktokoľvek iný, ale tieto tepelné čerpadlá sú 4-násobne účinnejšie ako akýkoľvek iný spôsob vykurovania! Ukážte mi lepší spôsob. Drevná štiepka? Iste, zopár drevných požieračov drevo spaľovať môže. Ale nemáme ho dostatok, aby tak mohol urobiť každý. Pre obyvateľov lesa drevo je, pre ostatných tu sú tepelné čerpadlá.



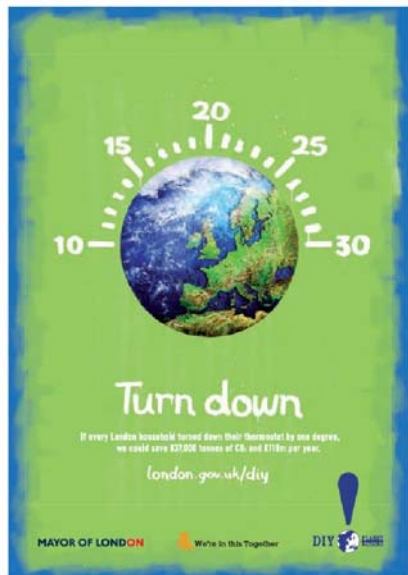
## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

142 *Ak pridáme izoláciu podkrovia a stien, zníži to tepelnú stratu v priemere o 25 %.* (Eden a Bending, 1985).

143 *...priemerná teplota v zime v britských domoch v roku 1970 bola 13 °C!* Zdroj: Ministerstvo obchodu a priemyslu (2002a, časť 3.11).

145 *Veľká Británia je svojím spôsobom pozadu, čo sa týka CZT a kogenerácie.* Odpadové teplo elektrární vo Veľkej Británii by pokrylo celú spotrebu krajiny (Wood, 1985). V Dánsku v roku 1985 dodávali systémy CZT 42 % celkového vykurovania, pri prenose tepla na 20 a viac km, vo forme horúcej vody



Obrázok 21.14 Kampaň starostu Londýna „DIY planet repairs“ v roku 2007. Z textu možno prečítať **Stlme**. Keby každá domácnosť v Londýne znížila nastavenie svojho termostatu o jeden stupeň, ušetrili by sme 873 000 ton CO<sub>2</sub> a 110 mil. libier ročne. [london.gov.uk/diy]. Vyjadrené v úsporách na osobu je to 0,12 t CO<sub>2</sub> za rok na osobu. To je približne 1 % celkových emisií (11 t), takže toto je užitočná rada. Dobrá práca, Ken!

pod tlakom. V západnom Nemecku v roku 1985 získalo z CZT až 4 milióny domácností po 7 kW tepla. Dve tretiny tepla zabezpečovali elektrárne. V meste Vasteras vo Švédsku v roku 1985 zabezpečovali teplárne až 98 % dodávaného tepla v meste.

147 *Takže tepelné čerpadlá sú asi 4-násobne účinnejšie ako klasické elektrické kozuby.* Pozri [www.gshp.org.uk](http://www.gshp.org.uk).

Niektoré tepelné čerpadlá dostupné vo Veľkej Británii už majú výkonové číslo viac ako 4,0 [yok2nw]. Dokonca existujú vládne dotácie na tepelné čerpadlá využívajúce teplo vody, ktoré majú vyššie výkonové číslo ako 4,4 [2dtx8z].

Komerčné tepelné čerpadlá využívajúce teplo zeme sú k dispozícii s výkonovým číslom 5,4 na chladenie a 4,9 na vykurovanie [2fd8ar].

153 *Tepelné čerpadlá využívajúce teplo vzduchu s výkonovým číslom 4,9;* Podľa HPTCJ (2007), sú tepelné čerpadlá s výkonovým číslom 6,6 v Japonsku dostupné od roku 2006. Ich účinnosť sa zvýšila za desať rokov z 3 na 6 vďaka podpore vlády. HPTCJ (2007) opisuje tepelné čerpadlo vzduch-voda na ohrev vody nazývané Eco Cute s výkonovým číslom 4,9. Tepelné čerpadlo Eco Cute prišlo na trh v roku 2001. [www.ecosystem-japan.com](http://www.ecosystem-japan.com).

Ďalšie čítanie o tepelných čerpadlách: Európska sieť tepelných čerpadiel [ehpn.fiz-karlsruhe.de/en/](http://ehpn.fiz-karlsruhe.de/en/), [www.kensaengineering.com](http://www.kensaengineering.com), [www.heatking.co.uk](http://www.heatking.co.uk), [www.iceenergy.co.uk](http://www.iceenergy.co.uk).

## 22 Efektívne používanie elektriny

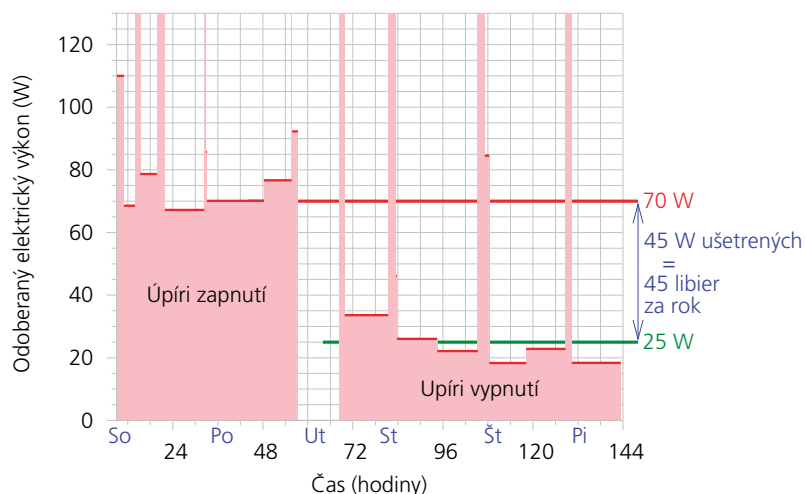
Dokážeme znížiť spotrebu elektriny? Áno, vypnúť spotrebiče, keď ich práve nepoužívame, je jednoduchý spôsob, ako to dosiahnuť. Úsporné žiarivky takisto šetria elektrinu.

Elektrickým spotrebičom sme sa už venovali v 11. kapitole. Niektoré sú z pohľadu spotreby bezvýznamné, iné elektrinu doslova hltajú. Tak napríklad laserová tlačiareň v mojej kancelárii, ktorá práve netlačí, hltá 17 W – to je takmer 0,5 kWh za deň. Kamarát si kúpil v predajni IKEA lampu. Jej nenásytý adaptér (obr. 22.1) odoberá celých 10 W a spotrebuje tak 0,25 kWh za deň, či už je lampka zapnutá alebo nie. Keď spočítate spotrebu vašich niekoľkých stereo zariadení, DVD prehrávačov, modemov a bezdrôtových spotrebičov, poľahky zistíte, že ich vypnutím ušetríte dokonca až polovicu svojej spotreby elektriny.

Podľa Medzinárodnej energetickej agentúry (International Energy Agency) sa pohotovostný (stand-by) režim našich spotrebičov podieľa zhruba 8 % na celkovej spotrebe elektriny v domácnostiach. Vo Veľkej Británii a vo Francúzsku sa priemerne v každej domácnosti spotrebuje na pohotovostný režim spotrebičov okolo 0,75 kWh elektrickej práce za deň. Samozrejme, problémom nie je pohotovostný režim ako taký, ale skôr spôsob, akým ho vo väčšine prípadov výrobcovia lacno imitujú. Bez problémov sa dá dosiahnuť, aby spotrebič v pohotovostnom režime odoberal maximálne 0,01 W, ale výrobcovia, v snahe prilákať zákazníkov nízkymi cenami, šetria vo veľkovýrobe každú pencu, čo zákazníkov stojí niekoľko libier každý rok.



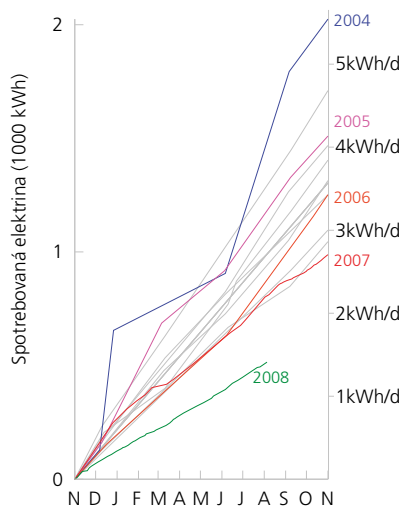
Obrázok 22.1 Nenásytý AC adaptér lampy z obchodného domu IKEA – odoberá takmer 10 W dokonca aj vtedy, keď je lampka vypnutá!



Obrázok 22.2 Účinnosť na obzore. Zmeral som úspory v spotrebe elektriny po vypnutí úpirov v priebehu týždňa, keď som bol v práci väčšinu každého dňa. Počas dňa a noci som nespotrebovával „užitočnú“ energiu, okrem chladničky. Malé nárasty v spotrebe boli spôsobené zapnutím mikrovlnnej rúry, hriankovača, práčky alebo vysávača. V utorok som vypol väčšinu svojich úpirov: dve stereá, DVD-prehrávač, káblový modem, bezdrôtový router a záznamník. Červená čiara ukazuje trend spotreby, ak „nikto nie je doma“ po tejto zmene. Príkion klesol o 45 W, alebo o 1,1 kWh za deň.

### Pokus s „vypnutím úpirov“

Obrázok 22.2 ukazuje výsledok pokusu, ktorý som urobil doma. Najprv som v priebehu prvých dvoch dní meral príkon v čase, keď som nebol doma alebo som spal.



Obrázok 22.3 Kumulatívna spotreba elektriny v mojej domácnosti, v kWh, meraná po mesiacoch každý rok v období 1993 až 2003. Sivé krivky znázorňujú spotrebu v období rokov 1993 až 2003. (Pre prehľadnosť grafu som jednotlivé roky neoznačil číslicami). Farebné krivky ukazujú vývoj kumulatívnej spotreby od roku 2004. Stupnica na pravej strane predstavuje priemerný príkon v kWh za deň. Pokus s upírmi začal 2. októbra 2007. Spoločná kombinácia vypnutia „upírov“ a zavedenia úsporných žiaroviek sa prejavili v znížení príkonu zo 4 kWh/d na 2 kWh/d.

V priebehu ďalších troch dní som meranie zopakoval s tým rozdielom, že som spotrebiče bežne zapnuté v pohotovostnom režime odpojil. Zistil som, že celková úspora príkonu bola až 45 W – čo predstavuje pri cene 11 pencí za kWh úsporu 45 libier za rok.

Odkedy som začal svojim meračom spotreby venovať väčšiu pozornosť, moja celková spotreba elektriny sa znížila na polovicu (obr. 22.3). Svoje šetrenie som si utužil návykom kontrolovať merače každý týždeň, čím sa mi nakoniec podarilo „elektrických upírov“ zneškodniť. Ak by túto zázračnú fintu mohli opakovať v každom dome a na každom pracovisku, mohli by sme sa jednoznačne prepracovať k výrazným úsporám elektriny. Preto so skupinou svojich kolegov z Cambridgea pripravujeme internetovú stránku venovanú pre záujemcov o pravidelné odčítavanie spotreby a osvete v tejto oblasti. Táto stránka, nazvaná ReadYourMeter.org, má za cieľ pomôcť ľuďom uskutočniť podobné pokusy ako tie moje, správne interpretovať výsledné hodnoty a získať hrejivý pocit na duši dosiahnutými úsporami.

Verím tomu, že takéto šikovné sledovanie vlastnej spotreby má význam. Napriek tomu sú však predstavy o budúcnosti Veľkej Británie v roku 2050 spojené s mojím predpokladom, že všetky takéto snahy šetriť elektrinu budú zmarené zázrakom rastu. Rast je jedna z doktrín našej spoločnosti: ľudia budú čoraz bohatší a v tom prípade sa budú môcť zabávať s čoraz väčším množstvom spotrebičov. Nároky na stále dokonalejšie počítačové hry poháňajú spotrebu počítačov stále vyššie a vyššie. Pred desiatimi rokmi sme si o počítačoch mysleli, že sú takmer dokonalé, ale v podmienkach súčasných nárokov sú takmer nepoužiteľné a je potrebné ich nahradiť rýchlejšími a dokonalejšími strojmi.

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

155 ...*pohotovostný (stand-by) režim našich spotrebičov sa podieľa zhruba 8% na celkovej spotrebe elektriny v domácnostiach*.. Zdroj: Medzinárodná energetická agentúra (2001).

Ďalšie informácie o zásadách týkajúcich sa pohotovostného režimu nájdete na stránke: [www.iea.org/textbase/subjectqueries/standby.asp](http://www.iea.org/textbase/subjectqueries/standby.asp).

## 23 Trvalo udržateľné fosílné palivá?

*Je neúprosným faktom, že aj v nastávajúcich desaťročiach budú fosílné palivá významným zdrojom energie.*

hovorca britskej vlády, apríl 2008

*Podmienky nášho súčasného radostného pokroku sú záležitosťou obmedzeného trvania.*

William Stanley Jevons, 1865

V posledných troch kapitolách sme rozoberali hlavné technológie a zmeny životného štýlu znižujúce spotrebu energie. Zistili sme, že v doprave by sme mohli znížiť spotrebu energie na polovicu (a zbaviť ju CO<sub>2</sub>) prechodom na elektrické vozidlá. Zistili sme tiež, že ešte výraznejšie úspory by sme dosiahli vykurovaním budov (a odstránením CO<sub>2</sub>) s lepším zateplením a využívaním elektrických tepelných čerpadiel namiesto fosílnych palív. Takže áno, dokážeme znížiť našu spotrebu. Napriek tomu je zosúladienie takto zníženej spotreby s možnosťami obnoviteľných zdrojov doma stále veľkou výzvou (obr. 18.7, str. 109). Nastal čas rozobrať možnosti výroby energie z neobnoviteľných zdrojov.

Zoberme si známe zásoby fosílnych palív, medzi ktorými dominuje uhlie: 1 600 Gt. Rozdeľte toto množstvo rovnomerne medzi 6 miliárd ľudí a spaľujte ho „trvalo udržateľne“. Čo tým máme na mysli, keď hovoríme o využívaní konečných zdrojov „trvalo udržateľne“? Tu je moja definícia, ktorú budem používať: spaľovanie je „trvalo udržateľné“, ak by zdroje fosílného paliva vydržali **1 000 rokov**. Spálením jednej tony uhlia uvoľníme 8 000 kWh chemickej energie, to znamená, že spálením 1 600 Gt uhlia rovnomerne rozdelených medzi 6 miliárd ľudí na obdobie 1 000 rokov získame **6 kWh za deň na osobu**. Priemerná uhoľná elektráreň by premenila túto chemickú energiu na elektrinu s účinnosťou približne 37% - to znamená okolo **2,2 kWh (e) za deň na osobu**. Ak však budeme brať ohľad na podnebie, podľa všetkého nebudeme používať klasické elektrárne. Radšej využijeme tzv. „čisté uhlie“, alebo inak „uhlie so zachytávaním a uskladnením uhlíka“ [CCS technológie – pozn. prekl.]. Ide zatiaľ o takmer nepoužívanú technológiu, ktorá oddeľuje v komínoch elektrární oxid uhličitý od ostatných plynov a vháňa ho do prázdnych priestorov v zemi. Čistenie emisií z elektrární týmto spôsobom je však energeticky značne náročné. Znížilo by celkové množstvo získanej elektriny o približne 25%. Nakoniec by sme „trvalo udržateľne“ získali približne iba **1,6 kWh (e) za deň na osobu**.

„Trvalo udržateľnú“ rýchlosť spaľovania uhlia – 1,6 Gt za rok – môžeme porovnať so súčasnou celosvetovou spotrebou tohto fosílného zdroja: 6,3 Gt za rok, ktorá rastie.

A čo samotná Veľká Británia? Tá má podľa súčasných odhadov v zásobe ešte 7 Gt uhlia. Dobré, ak 7 Gt uhlia rozdelíme medzi 60 miliónov ľudí, dostaneme 100 ton na osobu. V horizonte 1 000 rokov to znamená spotrebu **2,5 kWh za deň na osobu**. V prípade uplatnenia „zachytávania a uskladne-



Obrázok 23.1 Uhlie dopravované do elektrárne v Kingsnorthe (výkon 1 940 MW) v roku 2005. Autor fotografie: Ian Boyle [www.simplonpc.co.uk](http://www.simplonpc.co.uk).

Uhlie: **6 kWh/d**

Obrazok 23.2 „Trvalo udržateľné fosílné palivá.“



Obrázok 23.3 Stroj spracúvajúci staré lístie. Fotografia: Peter Gunn.

nia uhlíka“ by sme vo Veľkej Británii trvalo udržateľne získali 0,7 kWh (e) za deň na osobu.

Náš záver je preto jasný:

*Čisté uhlie je iba dočasné.*

Ak vyvineme technológiu „čistého uhlia“ za účelom zníženia emisií skleníkových plynov, musíme byť opatrní a skôr, ako sa budeme búchať do prs, musíme počítať dôsledne. Spaľovanie uhlia nevypúšťa skleníkové plyny len v uhoľných elektrárňach, ale aj v uhoľných baniach. Pri ťažbe uhlia sa uvoľňuje metán, oxid uhoľnatý aj oxid uhličitý, a to jednak pri odkrývaní uhoľných slojov, ako aj následne z odpadových bridlíc a ílovcov. Tieto dodatočné emisie zvyšujú uhlíkovú stopu každej klasickej uhoľnej elektrárne približne o 2 %, takže v prípade „čistých“ uhoľných elektrární sa tieto emisie prejavia nakoniec významne. Podobný problém nastáva aj v prípade zemného plynu. Povedzme, že 5 % zemného plynu unikne do ovzdušia pri doprave z miesta ťažby do elektrárne, potom tieto úniky metánu (z hľadiska skleníkového efektu) pridávajú ďalších 40 % k oxidu uhličitému vypúšťaného elektrárňou.

### Nové uhoľné technológie

Stanfordská spoločnosť directcarbon.com v súčasnosti vyvíja technológiu DCFC (*Direct Carbon Fuel Cell*), ktorá premieňa palivo a vzduch priamo na elektrinu a CO<sub>2</sub> bez použitia vody alebo parných turbín. Podľa nich je tento spôsob výroby elektriny z uhlia dvakrát účinnejší ako v klasických elektrárňach.

### Kedy príde koniec „vývoja ako dosiaľ“?

V roku 1865 ekonóm Jevons urobil jednoduchý výpočet. Ľudia uvažovali o tom, ako dlho by mohlo uhlie vo Veľkej Británii vydržať. Zväčša odpovedali na túto otázku jednoduchým delením zvyšných zásob uhlia priemernou rýchlosťou jeho spotreby a dostali odpoveď asi „1 000 rokov“. Jevons však argumentoval tým, že spotreba uhlia *nie je* konštantná. V tom čase sa spotreba zdvojnásobovala každých 20 rokov a „pokrok“ by mal k takémuto rastu smerovať aj naďalej. Takže „delenie zásob uhlia priemernou rýchlosťou spotreby“ prináša nesprávnu odpoveď.

Namiesto toho Jevons odhadol exponenciálny rast spotreby uhlia v čase a vypočítal, kedy celkové množstvo spotrebovaného uhlia presiahne zásoby. Dospel tak k oveľa kratšiemu času. Jevons jednoducho nepredpokladal, že by spotreba uhlia rástla rovnakou rýchlosťou; skôr tvrdil to, že tento rast je trvalo neudržateľný. Jeho výpočet tak stanovil pre britskú verejnosť nevyhnutné limity jej rastu, a tiež krátke obdobie, v priebehu ktorého sa tieto limity naplno prejavia. Jevons urobil odvážny výpočet toho, že koniec britského „pokroku“ by mohol nastať už v priebehu 100 rokov (vtedy bol rok

1865). Nakoniec mal Jevons pravdu. Ťažba uhlia vo Veľkej Británii dosiahla svoje maximum v roku 1910 a v roku 1965 už Veľká Británia nepatrila medzi svetové supervelmoci.

Zopakujme teraz jeho výpočet pre celý svet. V roku 2006 dosiahla svetová spotreba uhlia rýchlosť 6,3 Gt za rok [v roku 2009 to bolo viac ako 7,5 Gt – pozn. prekl.]. Počítajúc s predpokladanými zásobami uhlia 1 600 Gt, ľudia často hovoria, že „uhlia nám zostáva ešte na ďalších 250 rokov“. Ak však predpokladáme, že scenár „vývoj ako dosiaľ“ znamená rastúcu spotrebu, dopracujeme sa k odlišnému výsledku. Ak by rýchlosť rastu spotreby uhlia pokračovala na úrovni 2 % za rok (čo dobre zodpovedá úrovni rastu v období 1930 až 2000), potom by došlo k vyčerpaniu celosvetových zásob uhlia do roku 2096. Ak rýchlosť rastu spotreby zvýšime na 3,4 % za rok (teda hodnotu zodpovedajúcu rastu v poslednom desaťročí), koniec „vývoja ako dosiaľ“ možno očakávať ešte pred rokom 2072. Teda nie 250 rokov, ale 60!

Ak by bol Jevons ešte nažive, som si istý, že by s istotou predpovedal, že v prípade, ak nezvolíme inú cestu ako podľa scenára „vývoj ako dosiaľ“, roky 2050 alebo 2060 budú znamenať koniec nášho spokojného radostného pokroku.



## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

157 *1 000 rokov – moja definícia „trvalej udržateľnosti.“* Predo mnou prirovnal Hansen a kol. (2007) „viac ako 500 rokov“ k „večnosti.“

- *ekvivalent 1 tony uhlia = 29,3 GJ = 8 000 kWh* chemickej energie. Táto hodnota nezahŕňa náklady na energiu spojené s ťažbou, prepravou a uskladnením CO<sub>2</sub>.
- *Zachytávanie a uskladnenie uhlíka (CCS)*. Existuje niekoľko CCS technológií. Oddeľovanie CO<sub>2</sub> z plynov prítomných v komínoch je jedna možnosť; ďalšou je splyňovanie uhlia a separovanie CO<sub>2</sub> pred samotným spaľovaním. Pozri Metz a kol. (2005). Prvý prototyp uhoľnej elektrárne s technológiou CCS bol spustený do prevádzky 9. septembra 2008 švédskou spoločnosťou Vattenfall [5kpkj8].

- *Britské uhlie.* V decembri roku 2005 sa odhadovali celkové zásoby uhlia v existujúcich baniach na 350 miliónov ton. V novembri roku 2005 sa odhadovali potenciálne povrchové zásoby uhlia na 620 miliónov ton a potenciál zásob podpovrchového uhlia vhodného na splyňovanie na minimálne 7 miliárd ton [yebuk8].
  
- 158 *Ťažba uhlia vedie k uvoľňovaniu skleníkových plynov.* Informácie o metáne uvoľňovanom pri ťažbe uhlia pozri [www.epa.gov/cmop/](http://www.epa.gov/cmop/), Jackson a Kershaw (1996), Thakur a kol. (1996). Celosvetové emisie metánu vznikajúce pri ťažbe uhlia sa odhadujú na 400 Mt CO<sub>2</sub> za rok. Toto množstvo približne zodpovedá 2 % celkových emisií skleníkových plynov vznikajúcich pri spaľovaní uhlia. Priemerný obsah metánu v britských uhoľných slojoch je 4,7 m<sup>3</sup> na tonu uhlia (Jackson a Kershaw, 1996); tento metán má po uvoľnení do atmosféry rovnaký potenciál globálneho otepľovania ako približne 5 % množstva CO<sub>2</sub> vznikajúceho pri spaľovaní uhlia.
  
- *Ak 5% zemného plynu unikne do ovzdušia, pridáva to ďalších 40% k oxidu uhličitému vypúšťaného elektrárňou.* Príležitostné metánové znečistenie prispieva ku globálnemu otepľovaniu osemnásobne väčším podielom ako celkové množstvo CO<sub>2</sub> uvoľňovaného pri spaľovaní metánu; ide o osemnásobok, nie klasický „23-násobok“ pretože tento „23-násobok“ vyjadruje podiel účinnosti ohrievania atmosféry pri porovnaní rovnakej hmotnosti metánu a CO<sub>2</sub>. Každá tona CH<sub>4</sub> sa pri spaľovaní premení na 2,75 ton CO<sub>2</sub>. Ak však unikne bez spaľovania, jeho ekvivalent vstúpi na 23 ton CO<sub>2</sub>. A 23/2,75 je 8,4. [Toto je výpočet pre časový horizont 100 rokov. Metán je 25-krát účinnejší ako oxid uhličitý za obdobie 100 rokov, ale až 72-krát účinnejší za obdobie 20 rokov! Účinnosť metánu sa časom znižuje, pretože sa rýchlo rozkladá v atmosfére na oxid uhličitý – pozn. prekl.]

Ďalšie čítanie: Svetový energetický kongres [yhxf8b].

Ďalšie informácie o podzemnom splyňovaní uhlia: [e2m9n].



## 24 Jadrová energia?

*Urobili sme chybu spájaním jadrovej energie a jadrových zbraní, akoby všetky veci spojené s jadrom boli len zlé. Myslím, že je to rovnaká chyba, ako spájanie jadrovej medicíny a jadrových zbraní.*

Patrick Moore,  
bývalý riaditeľ Greenpeace International

Jadrovú energiu možno využiť dvoma spôsobmi. Prostredníctvom jadrového štiepenia využívame jadrovú energiu v elektrárňach. Ako palivo sa používa urán, výnimočne ťažký chemický prvok. Jadrová fúzia je spôsob, ktorý zatiaľ v elektrárňach využiť nedokážeme. Ako palivo si vyžaduje ľahké prvky, hlavne vodík. Štiepne reakcie delia ťažké atómové jadrá na stredne ťažké, pričom sa uvoľňuje energia. Fúzne reakcie spájajú ľahké jadrá do stredne ťažkých, čím sa tiež uvoľňuje energia.

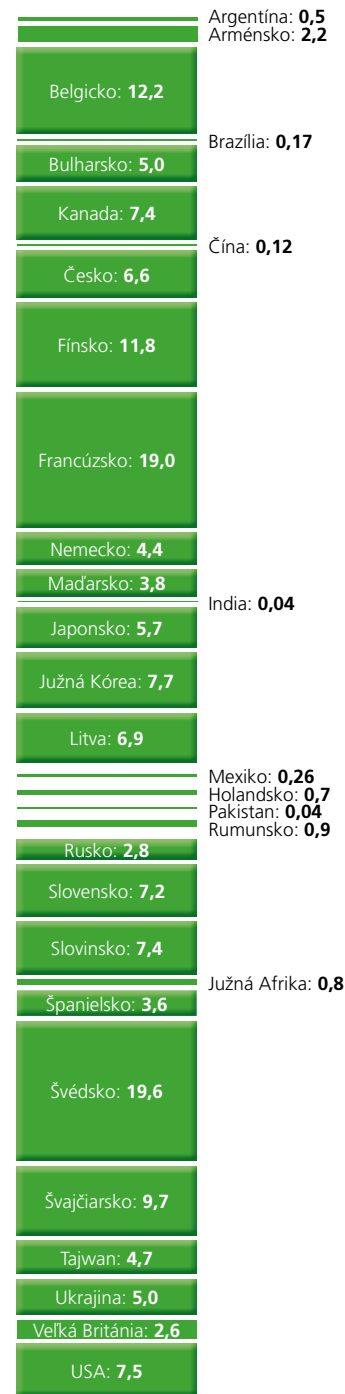
Obe formy jadrovej energie, štiepenie a fúzia, majú dôležitú vlastnosť: množstvo jadrovej energie v jednom atóme je približne miliónkrát väčšie ako množstvo chemickej energie v jednom atóme bežných palív. To znamená, že množstvo paliva a odpadu jadrového reaktora môže byť až miliónkrát menšie ako množstvo paliva a odpadu vznikajúce v ekvivalentných elektrárňach na pohon z fosílnych zdrojov.

Skúsme si tieto úvahy priblížiť. Množstvo fosílnych palív, ktoré spotrebuje „priemerný obyvateľ Veľkej Británie“, je asi 16 kg za deň (4 kg uhlia, 4 kg ropy a 8 kg plynu). To znamená, že počas jediného dňa pripadá na jedného Brita vyťaženie, doprava, spracovanie a spálenie hmotnosti fosílného paliva, ktoré je rovné 14 litrom mlieka. Každý Brit ročne priemerne vyprodukuje 11 ton odpadu oxidu uhličitého; teda 30 kg za deň. V predošlej kapitole sme prišli s myšlienkou zachytávania emisií CO<sub>2</sub> a jeho stlačenia do tekutého alebo pevného skupenstva a následnej prepravy na úložisko. Teraz si predstavte, že by bol každý človek zodpovedný za zachytenie a uloženie vlastného oxidu uhličitého. 30 kg CO<sub>2</sub> je veľký plecniak naplnený každý deň rovnakou hmotnosťou ako 30 litrov mlieka!

Naopak, množstvo uránu potrebného v klasickom štiepnom reaktore na rovnaké množstvo energie, ako získame z 16 kg fosílnych palív, sú 2 gramy. Množstvo odpadu predstavuje len štvrtinu gramu (inak tieto 2 g uránu nepredstavujú 1 milióntinu zo 16 kg denne, pretože súčasné reaktory využijú menej ako 1 % uránu). Na získanie 2 g prírodného uránu denne je potrebné spracovať v uránových baniach približne 200 g rudy každý deň.

Takže toky materiálu vstupujúce a vystupujúce z jadrového reaktora sú v porovnaní s tokmi fosílnych palív relatívne malé. „Malé je pekné“, ale fakt, že celkové množstvo jadrového odpadu je relatívne malé, ešte neznamená, že to nepredstavuje problém. Je to len „pekné malé“ problém.

### v kWh/d na osobu



Obrázok 24.1 Merný výkon získaný jadrovým štiepením v roku 2007 v kWh na osobu v krajinách s jadrovou energetikou.

	Milióny ton uránu
Austrália	1,14
Kazachstan	0,82
Kanada	0,44
USA	0,34
Južná Afrika	0,34
Namíbia	0,28
Brazília	0,28
Ruská federácia	0,17
Uzbekistan	0,12
Celkovo na svete (konvenčných zásob v zemi)	4,7
Zásoby vo fosfáte	22
V morskej vode	4 500

Tabuľka 24.2 Veľkosť známych vyťažiteľných zásob uránu. Horná časť tabuľky ukazuje „pomerné isté zásoby“ a „odhadované zásoby“ s cenou nižšou ako 130 dolárov za kg uránu, k 1. januáru roku 2005. Ide o odhadované zásoby vo všetkých preskúmaných oblastiach. Okrem toho existuje ďalších 1,3 mil. ton uskladneného ochudobneného uránu, ktorý vzniká ako vedľajší produkt predošlého spracovania uránu.



Obrázok 24.3 Pracovníci zasúvajú uránové valce do grafitového reaktora X-10.

## „Trvalo udržateľný“ elektrický výkon z jadrového štiepenia

Obrázok 24.1 ukazuje množstvo elektriny vyrobenej v jadrových reaktoroch na svete v roku 2007 podľa jednotlivých krajín.

Mohla by byť jadrová energia „trvalo udržateľná“? Ak opomenieme na chvíľu otázky bezpečnosti a uloženia jadrového odpadu, kľúčovou otázkou je, či by dokázalo ľudstvo žiť z jadrovej energie veľa generácií. Aké veľké sú zásoby uránu a iných štiepateľných palív? Budú nám stačiť iba niekoľko desaťročí, alebo ich máme dost na celé tisícročia?

Na odhad „trvalo udržateľného“ výkonu z uránu som použil celkové množstvo uránu vyťažiteľného zo zeme a z morskej vody, spravodlivo rozdelené medzi 6 miliárd ľudí a položil som si otázku: Ako rýchlo ho môžeme spotrebovať, aby nám vydržalo nasledujúcich tisíc rokov?

Takmer všetok vyťažiteľný urán je v morskej vode, nie v zemi. Morská voda obsahuje 3,3 mg uránu na m<sup>3</sup> vody, čo celosvetovo znamená 4,5 miliardy ton uránu. Urán v oceánoch som nazval „vyťažiteľný“, ale nie je to celkom presné, pretože väčšia časť morskej vody je pre nás nedostupná a vody oceánov sa premiešajú len asi raz za tisíc rokov. Navyše zatiaľ nikto nenašiel spôsob ťažby uránu z morskej vody na priemyselnej úrovni. Bude preto lepšie urobiť dva samostatné odhady: prvý pre urán v zemi a druhý pre urán z morskej vody.

Uránová ruda ekonomicky vyťažiteľná zo zeme pri cene 130 dolárov za kg čistého uránu predstavuje len jednu tisícinu jeho celkových zásob. Ak by ceny za kg presiahli 130 dolárov, stala by sa návratná aj ťažba ložísk fosfátov, ktoré tiež obsahujú urán. Získavanie uránu z fosfátov je celkom možné, už sa tak stalo v Amerike a v Belgicku pred rokom 1998. Zahnutím konvenčnej uránovej rudy a fosfátových ložísk do odhadu celkových vyťažiteľných zásob uránu sa nakoniec dostaneme k hodnote 27 miliónov ton uránu (tab. 24.2).

Budeme uvažovať o dvoch spôsoboch využívania uránu v jadrových reaktoroch: (a) široko používané tlakovodné reaktory využívajú najmä energiu z uránu <sup>235</sup>U (tvorí len 0,7 % celkového množstva uránu), pričom zvyšný urán <sup>238</sup>U sa nevyužíva; (b) rýchly množivý reaktor s vyššími konštrukčnými nákladmi premieňa urán <sup>238</sup>U na ďalej štiepateľné plutónium-239, z ktorého je možné získať až 60-krát viac energie, ako zo samotného uránu.

*Reaktory s jedným prechodom paliva, využitie uránu zo zeme*

**Gigawattová** jadrová elektrárňa s jedným prechodom paliva „spáli“ **162 ton uránu za rok**. Takže známe zásoby vyťažiteľného uránu, rozdelené medzi 6 miliárd obyvateľov na obdobie 1 000 rokov, môžeme spotrebovať rýchlosťou **0,55 kWh elektriny za deň na osobu**. Táto udržateľná rýchlosť je rovná výkonu 136 jadrových elektrární a predstavuje polovicu súčasnej výroby elektriny jadrovými elektrárnami. Je možné, že som energetický potenciál uránu podhodnotil aj preto, že vzhľadom na súčasný dostatok

uránu neexistujú od 80. rokov žiadne významnejšie podnety na prieskum nových nálezísk. Možno objavíme uránu viac. Potvrzuje to aj článok publikovaný v roku 1980, ktorý odhaduje zásoby nízko koncentrovanej uránovej rudy na viac ako tisícnásobok nami uvažovanej hodnoty 27 miliónov ton.

Mohlo by byť súčasné používanie reaktorov s jedným prechodom paliva skutočne „trvalo udržateľné“? Ťažko povedať, najmä pre neistoty týkajúce sa prieskumov ložísk. Samozrejme, pri súčasnej spotrebe môže táto technológia vydržať niekoľko stoviek rokov. No ak chceme zvýšiť jadrový výkon 40-násobne, aby sme prestali používať fosílna palivá a zabezpečili rast životnej úrovne, mohli by sme sa obávať, že reaktory s jedným prechodom paliva nie sú trvalo udržateľnou technológiou.

#### *Rýchle množivé reaktory využívajúce urán zo zeme*

Urán je možné využívať 60-krát účinnejšie v rýchlych množivých reaktoroch, ktoré využijú všetok urán – teda  $^{238}\text{U}$ , ako aj  $^{235}\text{U}$  (na rozdiel od reaktorov s jedným prechodom paliva, ktoré využívajú len urán  $^{235}\text{U}$ ). Ak nezlikvidujeme použité palivo vznikajúce v reaktoroch s jedným prechodom paliva, môžeme tento zdroj ochudobneného uránu znovu použiť, takže urán pre tieto reaktory nevyjde nazmar. Ak by sme použili všetok vyťažiteľný urán (aj ochudobnený urán) v 60-krát účinnejších rýchlych množivých reaktoroch, množstvo energie by bolo **33 kWh za deň na osobu**. Názory na rýchle množivé reaktory sú rôzne, od: „Ide o nebezpečný a neúspešný pokus s technológiou, o ktorej sa neoplatí ani hovoriť,“ až po: „Dokážeme to a mali by sme reaktory začať budovať okamžite.“ Nie som kompetentný vyjadrovať sa k rizikám tejto technológie a nechcem ani spolu miešať etické a faktické tvrdenia. Mojim cieľom je len pomôcť vám porozumieť číslam. Jediné etické tvrdenie, ktoré by som rád pripomenul, je: „Mali by sme mať plán, ktorý dáva zmysel.“

#### *Reaktory s jedným prechodom paliva využívajúce urán z oceánov*

Z celkového množstva uránu získateľného z morskej vody a využiteľného v tlakovodných reaktoroch by sme mohli získať energiu rovnajúcu sa:

$$\frac{4,5 \text{ miliárd ton na planétu}}{162 \text{ ton uránu na GW-rok}} = 28 \text{ miliónov GW-rokov na planétu.}$$

Ako rýchlo dokážeme ťažiť urán z oceánov? Oceány cirkulujú pomaly: polovica všetkej vody v Pacifiku spolu s hlbokooceánskymi vodami cirkuluje k povrchu vďaka existencii veľkého oceánskeho „dopravníka“ len asi raz za 1 600 rokov. Predstavme si teda, že dokážeme vyťažiť 10 % uránu za toto obdobie – to je rýchlosť 280 000 ton uránu ročne. Z reaktorov s jedným prechodom paliva by sme získali celkový elektrický výkon:

$$2,8 \text{ miliónov GW-rokov} / 1\,600 \text{ rokov} = 1\,750 \text{ GW,}$$

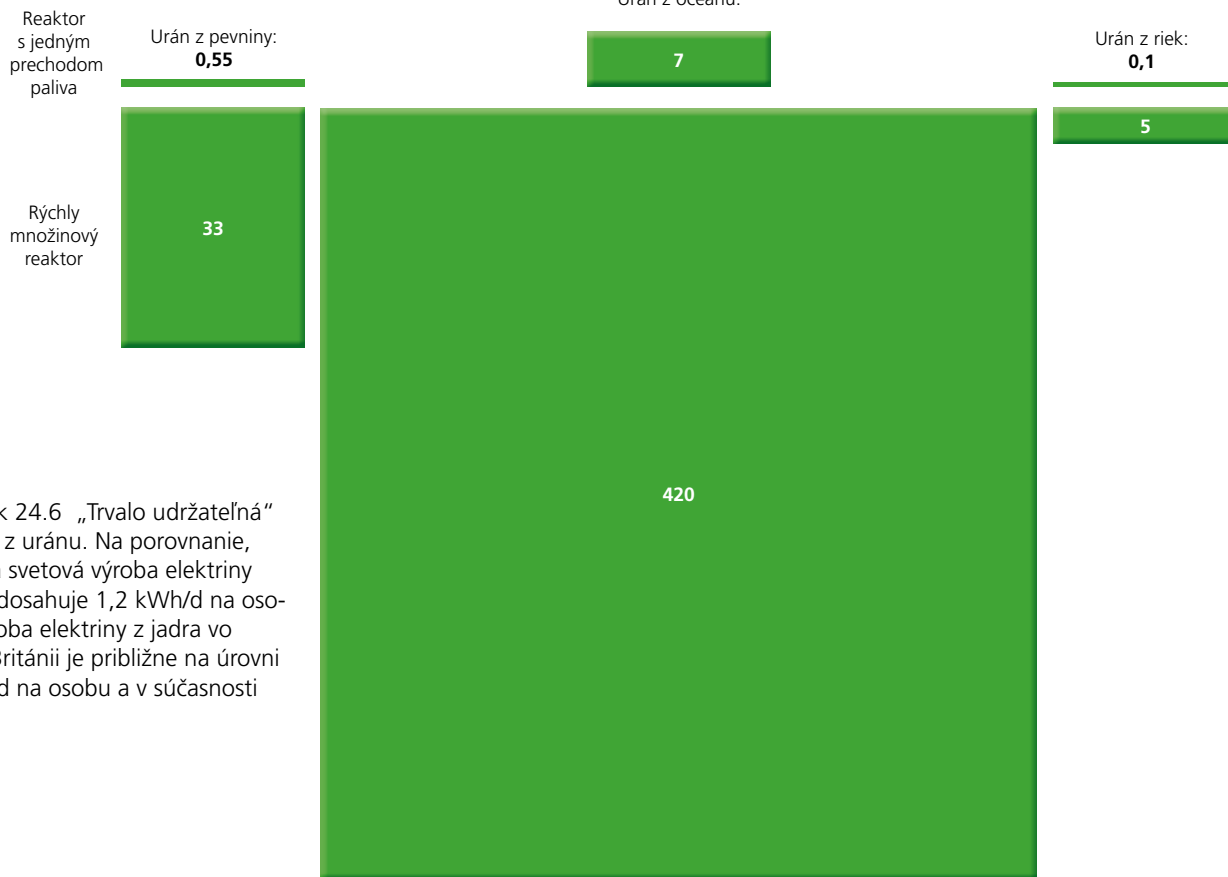


Obrázok 24.4 Jadrová elektrárňa v lokalite Three Mile Island.



Obrázok 24.5 Jadrové vývojové zariadenie v Dounreay, ktorého hlavným účelom bolo vyvinúť technológiu rýchleho množivého jadrového reaktora. Fotografia: John Mullen.

v kWh/d



Obrázok 24.6 „Trvalo udržateľná“ energia z uránu. Na porovnanie, súčasná svetová výroba elektriny z jadra dosahuje 1,2 kWh/d na osobu. Výroba elektriny z jadra vo Veľkej Británii je približne na úrovni 4 kWh/d na osobu a v súčasnosti klesá.

čo po rozdelení medzi 6 miliárd obyvateľov znamená 7 kWh za deň na osobu. (V súčasnosti máme k dispozícii 369 GW jadrového výkonu, takže uvedená hodnota by predstavovala 4-násobné zvýšenie oproti dnešku.) Usudzujem, že ťažba uránu z morskej vody by zmenila súčasnú technológiu reaktorov s jedným prechodom paliva na „trvalo udržateľnú“ možnosť, ale iba za predpokladu, že by reaktory pokryli aj energetické náklady získavania uránu z oceánu.

#### *Rýchly množivý reaktor, využitie uránu z oceánov*

Za predpokladu, že rýchle množivé reaktory sú 60-krát účinnejšie, využitím uránu z morskej vody by sme mohli získať 420 kWh za deň na osobu. Konečne „trvalo udržateľná“ hodnota, ktorá prekonáva súčasnú spotrebu – ale len so súčasnou pomocou dvoch technológií, ktoré nie sú veľmi v móde a zároveň sú len slabo rozvinuté, teda pomocou získavania uránu z morskej vody a rýchlych množivých jadrových reaktorov.

### Využitie uránu z riek

Zdrojom uránu v oceánoch sú rieky, ktoré ho dopĺňajú rýchlosťou približne 32 000 ton za rok. Ak by sme dokázali 10 % tohto množstva zachytiť, získali by sme dostatok paliva pre tlakovodné reaktory s výkonom 20 GW, alebo pre rýchle množivé reaktory s elektrickým výkonom 1 200 GW. Rýchle množivé reaktory by tak mohli poskytovať 5 kWh za deň na osobu.

Všetky uvedené čísla sú zhrnuté na obrázku 24.6.

### A čo náklady?

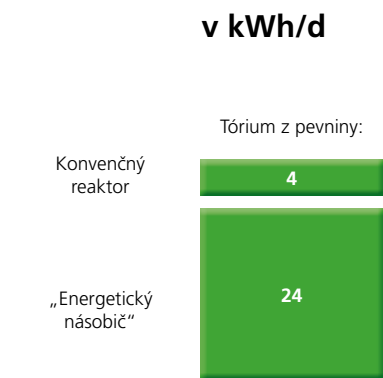
Ako prakticky v celej tejto knihe, aj tu pri základných výpočtoch venujem ekonomickej stránke iba malú pozornosť. Hoci potenciálne využívanie uránu získavaného z oceánov je zatiaľ tou najlepšou možnosťou v našom zozname „trvalo udržateľných“ technológií, zdá sa, že je na čase začať sa zaoberať aj otázkou, či je tento model využívania jadrovej energie aj ekonomicky prijateľný.

Japonskí vedci objavili technológiu získavania uránu z morskej vody pri cene 100 - 300 dolárov za kilogram. Súčasnú náklady ťažby uránu z rudy sú 20 dolárov/kg. Pretože urán obsahuje oveľa viac energie v jednej tоне ako tradičné palivá, takýto 5- alebo 15-násobný nárast ceny uránu by mal iba malý vplyv na cenu jadrovej energie. Cene jadrovej energie dominuje cena stavby elektrárne a jej odstavenie, ale nie cena paliva. Dokonca aj cena 300 dolárov/kg by zvýšila cenu jadrovej energie iba o 0,3 pencí za kWh. Náklady ťažby uránu by bolo možné znížiť kombináciou s ďalším využitím slanej vody – napríklad na chladenie elektrárne.

Ešte stále sme nevyhrali: je možné japonskú technológiu zaviesť na priemyselnú úroveň? Aké sú energetické náklady spracovania všetkej slanej vody? Japonci v jednom z experimentov použili tri koše plné látky adsorbujúcej urán vážiace 350 kg a zozbierali „viac ako 1 kg žltej hmoty za 240 dní“. To zodpovedá množstvu 1,6 kg za rok. Koše mali prierez 48 m<sup>2</sup>. Na pohon 1 GW reaktora s jedným prechodom paliva potrebujeme 160 000 kg za rok, čo je rýchlosť spotreby 100 000-krát vyššia ako v prípade japonského experimentu. Ak by sme jednoducho rozšírili túto japonskú technológiu, ktorá pasívne zbiera urán z mora, 1 GW reaktor by vyžadoval nádoby so zbernou plochou 4,8 km<sup>2</sup>, s hmotnosťou adsorbenta 350 000 ton – čo je viac ako váha ocele v samotnom reaktore. Aby sme si tieto čísla vedeli lepšie predstaviť, ak by urán dodával povedzme 22 kWh za deň na osobu, každý 1 GW reaktor by bolo potrebné rozdeliť medzi 1 milión ľudí a na každého z nich by pripadala spotreba 0,16 kg uránu za rok. Takže každý človek by potreboval jednu desatinu zariadenia Japoncov s váhou 35 kg na osobu a plochou 5 m<sup>2</sup> na osobu. Návrh, že je potrebné vyrobiť takéto zariadenia na ťažbu uránu, sa tak svojimi rozmermi podobá návrhu, podľa ktorého by „každý človek mal vlastniť 10 m<sup>2</sup> solárnych panelov“ a „každý človek by mal vlastniť jednotonové auto s príslušným miestom na parkovanie“. Áno, ide o veľkú investíciu, ale nie úplne nereálnu predstavu. A to bol výpočet

Krajina	Zásoby (1 000 ton)
Turecko	380
Austrália	300
India	290
Nórsko	170
USA	160
Kanada	100
Južná Afrika	35
Brazília	16
Ostatné krajiny	95
Spolu	1 580

Tabuľka 24.7 Známe svetové zásoby tória v monazite (ekonomicky využiteľné zásoby).



Obrázok 24.8 Energetické možnosti tória.

pre reaktory s jedným prechodom paliva. V prípade rýchlych množivých reaktorov by sme potrebovali 60-násobne menej uránu. Hmotnosť kolektorov uránu na osobu by bola 0,5 kg.

## Tórium

Tórium je rádioaktívny prvok podobný uránu. V minulosti sa používal na výrobu plynových pančušíek a je približne 3-násobne hojnejší prvok v zemskej kôre ako urán. Pôda ho obsahuje v priemere 6 častíc na jeden milión častíc a niektoré minerály obsahujú až 12 % oxidu tóričitého. Morská voda obsahuje iba málo tória, pretože oxid tóričitý je nerozpustný. Tórium je možné tiež v jednoduchých reaktoroch spáliť úplne (na rozdiel od klasických uránových reaktorov, ktoré spotrebujú iba 1 % uránu). Už dnes sa využíva v jadrových reaktoroch v Indii. Ak začne dochádzať urán, z tória sa pravdepodobne stane hlavné jadrové palivo.

Tóriové reaktory zabezpečia 3,6 miliardy kWh tepla z jednej tony tória, čo znamená, že 1 GW reaktory spotrebujú približne 6 ton tória za rok, pri predpoklade 40% účinnosti reaktorov. Celosvetové zásoby tória sa odhadujú na 6 miliónov ton, štvornásobne viac ako známe zásoby uvedené v tabuľke 24.7. Rovnako ako v prípade zásob uránu je pravdepodobné, že tieto zásoby sú podhodnotené, pretože vyhľadávanie rúd tória sa dnes nehodnotí príliš vysoko. Ak predpokladáme, tak ako v prípade uránu, že tieto zásoby spotrebujeme za 1 000 rokov a rovnomerne ich rozdelíme medzi 6 miliárd ľudí, dostaneme hodnotu „trvalo udržateľnej“ výroby energie na úrovni 4 kWh/d na osobu.

Alternatívny jadrový reaktor na spaľovanie tória, tzv. energetický násobič alebo „systém riadený urýchľovačom“ navrhnutý nositeľom Nobelovej ceny Carlom Rubbiiom a jeho kolegami, by podľa ich odhadov dokázal premeniť 6 miliónov ton tória na 15 000 TWh energie, alebo na 60 kWh/d na osobu počas 1 000 rokov. Ak predpokladáme účinnosť premeny energie 40 %, znamenalo by to množstvo 24 kWh/d na osobu počas 1 000 rokov. Odpad z energetického násobiča by bol navyše oveľa menej rádioaktívny. Autori nápadu tvrdia, že postupom času by sa ekonomicky dostupným stalo oveľa viac tória ako dnešných 6 miliónov ton. Ak je ich odhad – 300-násobne viac – správny, potom by tórium a energetický násobič dokázal poskytnúť 120 kWh/d na osobu počas 60 000 rokov.

## Využitie krajiny

Predstavme si, že Veľká Británia sa rozhodne seriózne zaoberať závislosťou od fosílnych palív a vybuduje veľa nových jadrových reaktorov, hoci ani tento prístup nemusí byť „trvalo udržateľný“. Ak postavíme dostatok reaktorov, ktoré by výrazne prispeli k zníženiu uhlíkovej stopy dopravy a vykurovania budov, dokážeme odhadnúť potrebný počet takýchto reaktorov pre Veľkú Britániu? Číslo, ktoré potrebujeme vedieť, je výkon na jednotku plochy

jadrového reaktora, čo je približne  $1\ 000\ \text{W/m}^2$  (obr. 24.10). Predstavme si získanie elektriny z jadra 22 kWh za deň na osobu - to je ekvivalent 55 GW (približne výkon z jadra vo Francúzsku), ktoré by mohlo zabezpečiť 55 jadrových elektrární a každá by zaberala asi 1 štvorcový kilometer. To je približne 0,02 % plochy krajiny. Veterné parky dodávajúce rovnaký výkon by potrebovali 500-násobne viac krajiny: 10 % z celkovej rozlohy. Ak umiestnime jadrové elektrárne v pároch okolo pobrežia (dĺžka 3 000 km pri rozlíšení 5 km), potom by na každých 100 km pripadali dve elektrárne. Zatiaľ čo celková plocha parkov je pomerne malá, plocha pobrežia, ktorú by parky zabrali, by bola väčšia, približne 2 % (2 kilometre na každých 100 km).

## Ekonomika likvidácie

Áké sú náklady na vyčistenie územia po jadrových elektrárnach? Úrad pre vyradovanie jadrových elektrární má ročný rozpočet 2 miliardy libier na ďalších 25 rokov (platí aj pre vojenskú výrobu jadrových bômb). Jadrový priemysel predáva každému vo Veľkej Británii 4 kWh/d približne už 25 rokov, takže náklady úradu pre odstavenie jadrových elektrární predstavujú 2,3 pence na kWh. To je slušná dotácia – ale treba povedať, že nie taká slušná ako súčasná dotácia pre vietor na mori (7 penci na kWh).

## Bezpečnosť

Obavy o bezpečnosť prevádzky jadrových elektrární pretrvávajú. V spracujúcom zariadení THORP v Sellafielde postavenom v roku 1994 za 1,8 miliardy libier došlo k rastúcemu úniku z poškodeného potrubia v období od augusta 2004 do apríla 2005. V priebehu 8 mesiacov uniklo až **85 000 litrov** tekutiny bohatej na urán do žumpy, ktorá bola vybavená bezpečnostným zariadením slúžiacim na detekciu presakovania uránu už od zanedbateľného množstva **15 litrov**. Toto presakovanie zostalo bez povšimnutia, pretože operátori nedokončili kontrolu správneho fungovania bezpečnostného systému. Navyše, operátori mali aj tak vo zvyku ignorovať bezpečnostné alarmy.

Bezpečnostné systémy boli veľmi citlivé. Nezávisle od bezpečnostného alarmu mali rutinné merania tekutiny v žumpe zaznamenať prítomnosť uránu už v priebehu mesiaca od začiatku úniku. Zodpovední ľudia sa však často týmito meraniami neobťažovali, pretože sa cítili príliš zaneprázdnení. Aj keď sa merania uskutočnili a zaznamenali neobvyklú prítomnosť uránu v žumpe (dňa 28. augusta 2004, 26. novembra 2004 a 24. februára 2005), nik neurobil potrebné kroky.

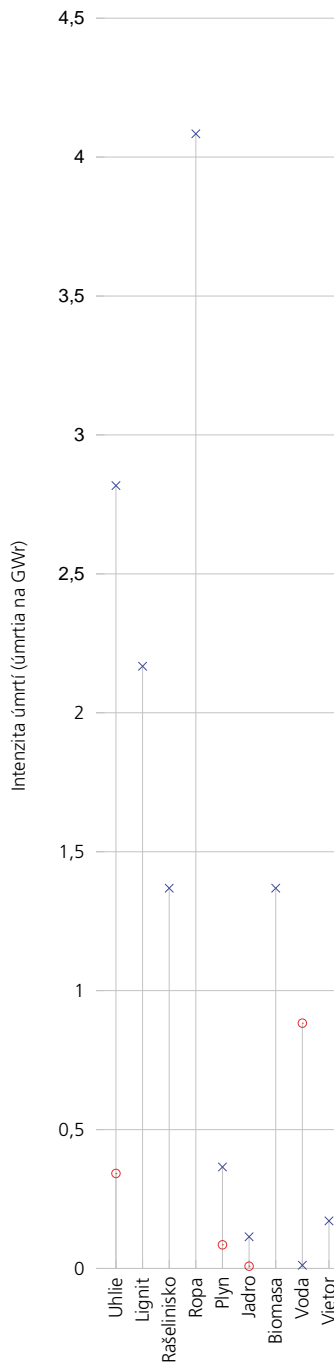
Do apríla roku 2005 uniklo **22 ton** uránu, ale žiadny z bezpečnostných systémov tento únik nezaznamenal. Zistili ho nakoniec až účtovníci, ktorí si všimli, že dostávajú o 10 % uránu menej, než deklarujú ich dodávatelia. Vďaka bohu, že súkromná firma bola motivovaná aspoň ziskom, nie? Kritika hlavného vyšetrovateľa jadrových zariadení bola zničujúca: „Elektrárň



Obrázok 24.9 Jadrové elektrárne v Sizewell. Sizewell A, v popredí, mala výkon 420 MW. Odstavená bola na konci roku 2006. Sizewell B, vzadu, dosahuje výkon 1,2 GW. Fotografia: William Connolley.



Obrázok 24.10 Elektrárne v Sizewell zaberá plochu menej ako 1 km<sup>2</sup>. Modré mriežky majú odstup 1 km. © Crown Copyright; Ordnance Survey.



Obrázok 24.11 Úmrtosť v závislosti od použitého primárneho zdroja na produkciu elektriny. x: odhady v rámci EÚ podľa projektu ExternE. o: podľa Inštitútu Paula Scherrera.

fungovala v prostredí, ktoré podľa všetkého umožňovalo zariadeniam pracovať v poplašnom stave namiesto toho, aby sa tento poplach zaznamenal a vyšetrili sa jeho príčiny.”

Ak necháme stavbu nových reaktorov na súkromné spoločnosti, ako zabezpečíme ešte vyššie bezpečnostné štandardy? To neviem.

Zároveň však nesmieme v panike strácať hlavu kvôli nebezpečnosti jadrovej technológie. Jadrová energia nie je nekonečne nebezpečná. Je iba taká nebezpečná ako uhoľné bane, sklady s benzínom, spaľovanie fosílnych palív alebo veterné turbíny. Dokonca aj v prípade, keď nemáme záruky, že v budúcnosti nedôjde k nehodám, je podľa mňa najlepším prístupom objektívne porovnanie tohto zdroja s ostatnými spôsobmi získavania príkonu. Napríklad uhoľné elektrárne vystavujú obyvateľstvo rádioaktívnemu žiareniu, pretože popol z uhlia bežne obsahuje urán. Podľa štúdie publikovanej v časopise *Science* ľudia žijúci v Amerike v blízkosti uhoľných elektrární sú vystavení vyšším dávkam radiácie ako ľudia žijúci pri jadrových elektrárňach.

Na meranie rizika, ktoré pre verejnosť vyplýva z jednotlivých zdrojov energie, potrebujeme novú jednotku. Je ňou počet úmrtí na GWr (gigawatt-rok). Čo teda znamená, ak má nejaký zdroj energie rýchlosť úmrtí 1 úmrtie na GWr? Jeden gigawatt-rok je elektrina vyrobená 1 GW elektrárnou, ak ju vyrába neprestajne po celý rok. Priemerný odoberaný výkon vo Veľkej Británii je 45 GW, alebo ak chcete 45 gigawatt-rokov za rok. Takže ak získavame elektrinu zo zdrojov s úmrtnosťou 1 človeka na GWr, znamená to, že výroba elektriny zabíja každý rok 45 ľudí. Na porovnanie, na britských cestách zahynie každoročne 3 000 ľudí. Takže ak *nie ste* za zrušenie ciest, môžete vyvodiť, že hoci je 1 úmrtie na GWr smutné, dá sa s tým žiť. Lepšie by bolo 0,1 úmrtí na GWr, ale stačí iba okamih, aby ste si uvedomili, že využívanie fosílnych palív musí mať vyššiu mieru úmrtí. Len pomyslite na nehody ropných veží, helikoptéry stratené v mori, požiare na ropovodoch, výbuchy v rafinériách, či nehody v uhoľných elektrárňach. Vo Veľkej Británii zaznamenávame desiatky úmrtí ročne v reťazci využívania fosílnych zdrojov.

Áké sú skutočné úmrtnosti pre rôzne spôsoby získavania elektriny? Veľmi sa líšia v závislosti od krajiny. Napríklad, v Číne je úmrtnosť v uhoľných baniach až 50-násobne vyššia ako vo väčšine iných krajín. Obrázok 24.11 ukazuje čísla zo štúdie Inštitútu Paula Scherrera a projektu Európskej únie s názvom ExternE, ktoré dôsledne zhodnotili všetky dosahy výroby energie. Podľa údajov EÚ majú najvyššiu úmrtnosť uhlie, lignit a ropa, nasledované získavaním elektriny z rašelinísk a biomasy, ktorými spôsobená úmrtnosť sa pohybuje niečo nad 1 úmrtie na GWr. Najlepšie sú na tom Jadro a Vietor s menej ako 0,2 úmrtiami na GWr. Podľa štúdie EÚ je najlepšie získavanie elektriny z vody, ale najhoršie v štúdii Inštitútu Paula Scherrera, pretože robili výskum v iných krajinách.



### V podstate bezpečná jadrová energia

Poháňaní obavami z jadra vymysleli inžinieri veľa typov nových a bezpečnejších jadrových reaktorov. Napríklad o elektrárni GT-MHR sa hovorí, že je v princípe bezpečná; a navyše má vyššiu účinnosť premeny tepla na elektrinu ako konvenčné jadrové elektrárne [gt-mhr.ga.com].

### Mýty

Dva často citované nedostatky jadrovej energie sú stavebné náklady a odpad. Pozrime sa na niektoré aspekty týchto problémov.

### **Vybudovanie jadrovej elektrárne si vyžaduje značné množstvo betónu a ocele, teda materiálov, ktorých výroba znamená značné znečistenie CO<sub>2</sub>.**

Oceľ a betón v 1 GW jadrovej elektrárni majú uhlíkovú stopu približne 300 000 ton CO<sub>2</sub>.

Ak toto „obrovské“ číslo prepočítame na 25-ročnú životnosť reaktora, môžeme vyjadriť jeho príspevok k uhlíkovej intenzite v štandardných jednotkách (g CO<sub>2</sub> na kWh (e)),

$$\text{uhlíková intenzita súvisiaca so stavbou} = \frac{300 \times 10^9 \text{ g}}{10^6 \text{ kW (e)} \times 220\,000 \text{ h}} = 1,4 \text{ g/kWh (e)},$$

čo je oveľa menej ako hodnota 400 g CO<sub>2</sub>/kWh (e) v prípade fosílnych palív. Podľa odhadov IPCC je celková uhlíková intenzita elektriny z jadra (vrátane stavby, odstavenia elektrárne a spracovania paliva) nižšia ako 40 g CO<sub>2</sub>/kWh (e) (Sims a kol., 2007).

Prosím, aby ste ma nechápali zle: nesnažím sa byť zástancom jadra. Snažím sa byť zástancom aritmetiky.

### **Nie je odpad z jadrových reaktorov obrovským problémom?**

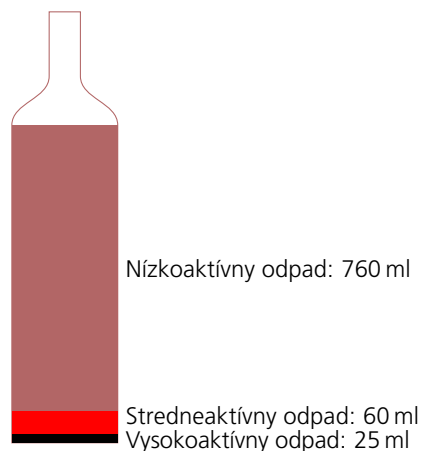
Ako sme poznamenali na začiatku kapitoly, objem odpadu z jadrových reaktorov je pomerne malý. Zatiaľ, čo popol z desiatich uhoľných elektrární by mal hmotnosť štyri milióny ton ročne (čo zodpovedá objemu približne 40 litrom na osobu za rok), jadrový odpad z desiatich jadrových elektrární Veľkej Británie má objem iba 0,84 litra na osobu za rok. Predstavte si to ako jednu fľašu vína na osobu za rok (obr. 24.13).

Väčšina tohto odpadu je nízkoaktívny jadrový odpad, 7 % je stredne aktívny odpad a iba 3 % – 25 ml za rok – tvorí vysokoaktívny jadrový odpad.

Vysokoaktívny jadrový odpad je naozaj nepríjemný. Tento typ odpadu sa prvých 40 rokov bežne udržiava pri reaktore. Chladí sa a uskladňuje sa v bazénoch s vodou. Po 40 rokoch sila rádioaktivity klesá tisícnásobne. Rádioaktivita klesá aj potom. Ak sa odpad znovu spracuje, oddelí sa plutónium s uránom a použijú sa v novom palive. Potom je po 1 000 rokoch rádio-



Obrázok 24.12 Jadrová elektrárň v Černobyle (hore) a opustené mesto Pripiat, slúžiace na obsluhu elektrárne (dole). Fotografia: Nik Stanbridge.



Obrázok 24.13 Ročný objem jadrového odpadu pripadajúceho vo Veľkej Británii na osobu je len o niečo väčší ako objem jednej fľaše vína.

aktivita vysokoaktívneho odpadu približne rovnaká ako v prípade uránovej rudy. Inžinieri uskladňujúci odpad potrebujú vymyslieť plán na zabezpečenie vysokoaktívneho odpadu na obdobie približne 1 000 rokov.

Je to závažný problém? 1 000 rokov je nepochybne dlhý čas v porovnaní so životom vlád a krajín, no objemy odpadu sú také malé, že sú podľa mňa iba malým problémom v porovnaní so všetkými inými formami odpadu, ktoré nechávame budúcim generáciám. Pri 25 ml za rok by bol celoživotný objem odpadu menej ako 2 litre. Dokonca aj keď vynásobíme toto množstvo 60 miliónmi, objem odpadu jednej generácie sa nezdá byť nezvládnuteľný: 105 000 kubických metrov. Je to rovnaký objem, aký má 35 olympijských bazénov. Ak by sme tento odpad rozprestrelí do výšky jedného metra, zakrýval by iba jednu desatinu štvorcového kilometra.

Už teraz existuje veľa miest, ktoré sú pre ľudí neprístupné. Do vašej záhrady sa nedostanem. Ani vy by ste sa nemali dostať do mojej. Ani jeden z nás nie je vítaný v Balmorale [zámok v Škótsku a obľúbená rezidencia kráľovského rodu – pozn. prekl.]. Značky „nevstupovať“ sú všade. Downing Street, letisko Heathrow, vojenské zariadenia, nepoužívané bane – to všetko je nedostupné. Je nemožné predstaviť si ďalší štvorcový kilometer – možno hlboko v zemi – nedostupný po tisíc rokov?

Porovnajte týchto 25 ml na osobu vysokoaktívneho jadrového odpadu s tradičnými formami odpadu, ktorý dnes vytvárame: komunálny odpad – 517 kg za rok na osobu; nebezpečný odpad – 83 kg za rok na osobu.

Občas sa porovnáva potenciálny nový jadrový odpad s jadrovým odpadom, ktorý už máme vďaka starým reaktorom. Tu sú čísla pre Veľkú Britániu. Predpokladaný objem „vysokoaktívnych jadrových odpadov“ do roku 2120 s predpokladaným odstavením existujúcich jadrových elektrární je 478 000 m<sup>3</sup>. Z tohto objemu budú 2 % (asi 10 000 m<sup>3</sup>) tvoriť vysokoaktívny odpad (1 290 m<sup>3</sup>) a vyhoreté palivo (8 150 m<sup>3</sup>), ktoré spolu tvoria 92 % aktivity. Stavba 10 nových jadrových reaktorov (10 GW) by pridala k tomuto množstvu ďalších 31 900 m<sup>3</sup> vyhoretého paliva. Je to objem rovný desiatim bazénom.

***Ak by sme veľmi veľké množstvo energie získavali z jadrového štiepenia alebo fúzie, nemohlo by to prispieť ku globálnemu otepľovaniu pre rastúce množstvo tepla, ktoré by sa uvoľňovalo do prostredia?***

To je zábavná otázka. Pretože sme všetko v tejto knihe poctivo vyjadrovali rovnakými jednotkami, odpoveď je pomerne jednoduchá. Najprv si zrekapitulujme kľúčové čísla o globálnej energetickej rovnováhe zo strany 20. Priemerný slnečný príkon absorbovaný atmosférou, krajinou a oceánmi je 238 W/m<sup>2</sup>. Zdvojnásobenie atmosférickej koncentrácie CO<sub>2</sub> by zvýšilo celkové ohrievanie o 4 W/m<sup>2</sup>. Toto zvýšenie o 1,7 % sa zdá byť zlou správou pre podnebie. Zmeny vo výkone Slnka v priebehu 11-ročného cyklu kolíšu v rozmedzí 0,25 W/m<sup>2</sup>. Predpokladajme, že v priebehu približne 100 rokov bude svetová populácia 10 miliárd, a každý obyvateľ bude žiť na úrovni

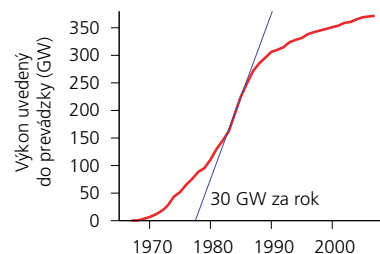
priemerného Európana a za deň spotrebuje 125 kWh z fosílnych palív, jadra alebo geotermálnej energie. Plocha Zeme na osobu by bola 51 000 m<sup>2</sup>. Vydelením energie na osobu plochou na osobu zistíme, že dodatočná energia – ako dôsledok spotreby energie ľuďmi – je 0,1 W/m<sup>2</sup>. To je jedna štyridsiatina zo 4 W/m<sup>2</sup>, s ktorými porovnávame vplyv na podnebie. Predstavuje to o niečo menej ako 0,25 W/m<sup>2</sup> vplyvom zmien slnečného žiarenia. Pri týchto predpokladoch by sa výroba elektriny prejavila ako jeden z prispievateľov ku globálnej klimatickej zmene.

**Počul som, že jadrové elektrárne nie je možné stavať dostatočne rýchlo, aby dokázali užitočne prispieť k výrobe energie.**

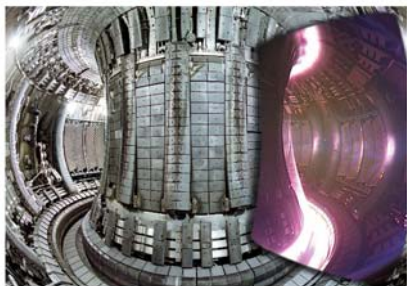
Problém s dostatočne rýchlou stavbou bol zveličený za pomoci zavádzajúcej prezentácie faktov, ktoré nazývam „magické ihrisko“. Pomocou tejto metódy sa zdanlivo porovnávajú dve veci, ale základ tohto porovnania skončí na polceste. Editor z Guardianu pri hodnotení správy od *Oxfordskej výskumnej skupiny (Oxford Research Group)* napísal: „Aby jadrová energia významne prispela k zníženiu globálnych emisií CO<sub>2</sub> v priebehu dvoch generácií, bolo by potrebné postaviť takmer 3 000 nových reaktorov – alebo jeden týždenne počas 60 rokov. Civilný jadrový program na tejto úrovni je nereálny a úplne nevhodný. Najvyššia historická rýchlosť je 3,4 nového reaktora ročne.“ Číslo 3 000 vyzerá oveľa viac ako 3,4, že áno! V tomto použití metódy „magického ihriska“ autor preskočil nielen **v čase**, ale aj **v priestore**. Zatiaľ, čo prvý údaj (3 000 nových reaktorov **za 60 rokov**) je číslo potrebné **pre celú planétu**, druhý údaj (3,4 reaktora **za rok**) je maximálna rýchlosť výstavby **v jednej krajine** (vo Francúzsku)!

Čestnejšia prezentácia by zachovala porovnanie na úrovni planéty. Francúzsko má 59 zo svetových 429 fungujúcich jadrových reaktorov, takže je pravdepodobné, že najvyššia rýchlosť výstavby reaktorov pre celú planétu mohla byť desaťnásobkom rýchlosti Francúzska, teda 34 nových reaktorov ročne. Požadovaná rýchlosť (3 000 nových reaktorov za 60 rokov) znamená 50 reaktorov ročne. Takže tvrdenie, že „civilný jadrový program na tejto úrovni je nereálny a úplne nevhodný“, je nezmysel. Áno, je to vysoká rýchlosť konštrukcie, ale pohybuje sa v rovnakom rozsahu ako rýchlosti v minulosti.

Môj predpoklad znie, že maximálna historická rýchlosť výstavby jadrových elektrární na svete by mohla byť okolo 34 nových reaktorov ročne. Je realistický? Pozrime sa, čo hovoria údaje. Obrázok 24.14 ukazuje výkon jadrových elektrární vo svete pre funkčné reaktory aj v roku 2007. Rýchlosť výstavby bola najvyššia v roku 1984, keď dosiahla hodnoty (prosím, fanfáry...) približne 30 GW za rok – teda približne 30 gigawattových reaktorov. Takže tak!



Obrázok 24.14 Celkový globálny výkon dnes fungujúcich jadrových elektrární postavených od roku 1967. Výkon nových elektrární uvedených do prevádzky dosiahol vrchol v roku 1984 (30 GW).



Obrázok 24.15 Pohľad do vnútra experimentálneho fúzneho reaktora. Kombinácia prekrývajúcich sa fotografií ukazuje vnútro JET vákuového tunela (vľavo) a JET plazmy (vpravo) zachytenej kamerovým systémom počas skúšobných testov. Foto: EFDA-JET.

v kWh/d



Obrázok 24.16 Fúzia na báze lítia používaná spravodlivo a „trvalo udržateľne“, by dokázala zabezpečiť našu súčasnú úroveň spotreby. Lítium získané ťažbou by zabezpečilo 10 kWh/d na osobu počas 1 000 rokov; lítium získané z morskej vody by zabezpečilo 105 kWh/d na osobu počas obdobia viac ako milión rokov.

## A čo jadrová fúzia?

*Hovoríme, že schováme Slnko do škatule. Myšlienka je to pekná. Problémom je, že tú škatuľu nevieme vyrobiť.*

Sébastien Balibar, riaditeľ výskumu, CNRS

Energia fúzie je špekulatívna a experimentálna. Je unáhlené predpokladať, že problém fúzie bude vyriešený, ale veľmi rád vypočítam koľko energie nám môže fúzia zabezpečiť, ak problém vyriešime.

Dve fúzne reakcie považované za najslubnejšie sú:

**DT reakcia**, pri ktorej sa zlučuje deutérium s trícium za vzniku hélia; a

**DD reakcia**, pri ktorej sa zlučuje deutérium s deutériom.

Deutérium, prirodzene sa vyskytujúci ťažký izotop vodíka, je možné získať zo slanej vody. Trícium, ťažší izotop vodíka, sa vo väčších množstvách v prírode nenachádza (pretože jeho polčas rozpadu je iba 12 rokov), ale je možné vyrobiť ho z lítia.

ITER je medzinárodný projekt, ktorý má za cieľ vymyslieť fungujúci a stabilný fúzny reaktor. Prototyp ITER bude využívať reakciu DT. Tá je uprednostňovaná pred reakciou DD, pretože uvoľňuje viac energie a vyžaduje teplotu „iba“ 100 miliónov °C, zatiaľ čo DD vyžaduje 300 miliónov °C (maximálna teplota v Slnku je 15 miliónov °C).

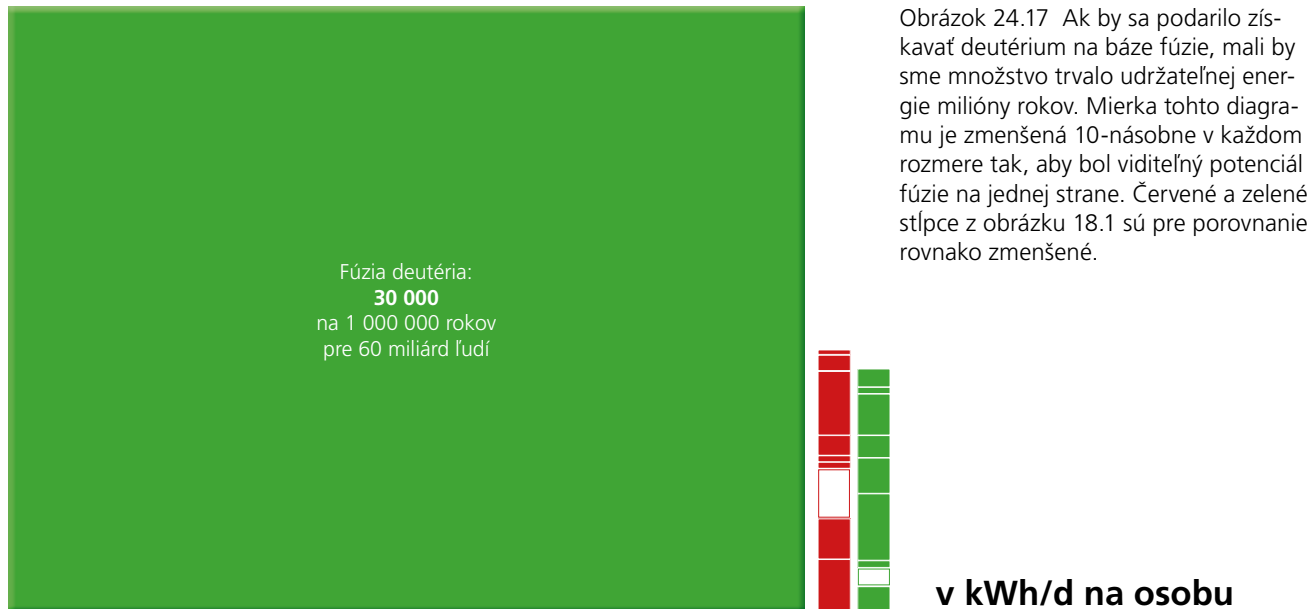
Podme fantazírovať a predpokladajme, že projekt ITER bude úspešný. Koľko trvalo udržateľnej energie by nám fúzia zabezpečila? Elektrárne využívajúce DT reakciu, poháňanú lítiom, prestanú fungovať, keď nebude lítium. Dúfajme, že ešte predtým bude k dispozícii druhý fantastický vynález: fúzne reaktory využívajúce samotné deutérium.

Tieto dva fantastické zdroje energie budem volať „fúzia lítia“ a „fúzia deutéria“, pričom názov vychádza z primárneho paliva, o ktoré máme v danom prípade záujem.

### Fúzia lítia

Svetové zásoby lítia sa odhadujú na 9,5 milióna ton v ložiskách rúd. Ak by sme všetky tieto zásoby využili počas fúzie v priebehu 1 000 rokov, získaná energia by bola 10 kWh/d na osobu.

Existuje ešte iný zdroj lítia: morská voda, kde má lítium koncentráciu 0,17 ppm. Na výrobu lítia rýchlosťou 100 miliónov kg za rok z morskej vody sa odhaduje elektrina 2,5 kWh na gram lítia. Ak fúzne elektrárne vyrobia 2 300 kWh na gram lítia, takto vyrobená elektrina by zodpovedala 105 kWh/d na osobu (pri predpoklade 6 miliárd ľudí). Pri takejto rýchlosti by zásoby lítia v oceánoch vydržali na viac ako milión rokov.



Obrázok 24.17 Ak by sa podarilo získať deutérium na báze fúzie, mali by sme množstvo trvalo udržateľnej energie milióny rokov. Mierka tohto diagramu je zmenšená 10-násobne v každom rozmere tak, aby bol viditeľný potenciál fúzie na jednej strane. Červené a zelené stĺpce z obrázku 18.1 sú pre porovnanie rovnako zmenšené.

### Fúzia deutéria

Ak si predstavíme, že vedci a inžinieri zvládnu problém a rozbehnú fungujúcu DD reakciu, pôjde o veľmi dobrú správu. Každá tona vody obsahuje 33 g deutéria a energia, ktorá by sa uvoľnila fúziou iba jedného gramu deutéria, by bola úžasných 100 000 kWh. Keď si uvedomíme, že hmotnosť oceánov je 230 miliónov ton na osobu, máme dostatok deutéria na zásobovanie každého obyvateľa sveta pri desaťnásobnom náraste súčasnej populácie tepelným príkonom 30 000 kWh za deň (čo je viac ako stonásobok priemernej spotreby Američana) počas milión rokov (obr. 24.17).

### Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

- 161 **Obrázok 24.1.** Zdroj: Svetová jadrová asociácia (World Nuclear Association) [5qntkb]. Celkový elektrický výkon funkčných jadrových elektrární je 372 GW s ročnou spotrebou uránu 65 000 ton. USA vyrába 99 GW, Francúzsko 63,5 GW, Japonsko 47,6 GW, Rusko 22 GW, Nemecko 20 GW, Južná Kórea 17,5 GW, Ukrajina 13 GW, Kanada 12,6 GW, a Veľká Británia 11 GW. V roku 2007 vyrobili všetky reaktory sveta 2608 TWh elektriny, čo je v priemere 300 GW alebo 1,2 kWh za deň na osobu.
- 162 **Rýchly množivý reaktor získava z uránu 60-násobne viac energie.** Zdroj: [www.world-nuclear.org/info/inf98.html](http://www.world-nuclear.org/info/inf98.html). V súčasnosti vedie vo vývoji rýchlych množivých reaktorov Japonsko. [Po katastrofe vo Fukušime rastie v Japonsku odpor k jadrovej energetike – pozn. prekl.].
- **Gigawattová jadrová elektráreň s jedným prechodom paliva „spáli“ 162 ton uránu za rok.** Zdroj: [www.world-nuclear.org/info/inf03.html](http://www.world-nuclear.org/info/inf03.html). 1 GW elektráreň s tepelnou účinnosťou 33 % a faktorom zataženia 83 % má nasledovnú stopu: ťažba – 16 600 ton 1% uránovej rudy; drvenie – 191 t smolinca (ktorý obsahuje 162 t prírodného uránu); obohacovanie a výroba

paliva – 22,4 t smolinca (ktorý obsahuje 20 t obohateného uránu). Obohatenie vyžaduje 115 000 SWU; pozri stranu 102 pre energetické náklady SWU (jednotiek separačnej práce).

163 ...ktorý odhaduje zásoby nízko koncentrovanej uránovej rudy na viac ako tisícnásobok nami uvažovanej hodnoty 27 miliónov ton. Deffeyes a MacGregor (1980) odhadli, že zdrojov uránu s koncentráciou 30 ppm alebo viac je  $3 \times 10^{10}$  ton. (Priemerná uránová ruda spracovaná v Južnej Afrike v roku 1985 a 1990 mala 150 ppm. Fosfáty dosahujú obvykle priemer 100 ppm).

Svetová jadrová asociácia vzhľadom na zásoby uránu v júni 2008 napísala:

„Z času na čas sa vyjadrujú obavy, že známe zásoby uránu nemusia postačovať, ak sa jeho použitie v budúcnosti znásobi. Ide však o omyl limitov rastu, ...ktorý neberie do úvahy veľmi obmedzenú znalosť toho, čo sa v zemskej kôre v skutočnosti nachádza. Poznatky geológie sú také, že si môžeme byť istí, že známe zásoby rúd kovov sú len zlomkom ich obsahu v kôre.“

„Známe zdroje uránu, množstvo ekonomicky vyťažiteľné z hornín, je... závislé od intenzity prieskumov v minulosti a v princípe ide o vyjadrenie toho, čo je známe, skôr ako toho, čo je v zemskej kôre.“

„Súčasnne známe zásoby uránu (5,5 Mt) ...postačujú na viac ako 80 rokov. To predstavuje viac rokov potvrdených zásob, ako je bežné pre väčšinu minerálov. Ďalší výskum a vyššie ceny určite prinesú, na základe súčasných geologických znalostí, ďalšie zdroje po vyčerpaní tých existujúcich.“

„Ekonomicky racionálni hráči investujú iba do nálezov týchto nových zásob, keď si sú najviac istí ich návratnosťou, čo vo všeobecnosti vyžaduje pozitívne cenové signály spôsobené nedostatkom zásobovania na trhu. Ak pracuje ekonomický systém správne a maximalizuje účinnosť kapitálového vkladu, nikdy by nemalo existovať viac ako pár desaťročí zásob akéhokoľvek zdroja v akomkoľvek čase.“

[Prieskum má svoje náklady; napríklad prieskum uránu stál 1 - 1,5 dolára na kg uránu (3,4 doláru/MJ), čo predstavuje 2 % z aktuálnej ceny 78 dolárov za kg U; naopak, cena nájdenia ropy bola v priemere približne 6 dolárov za barel (1 050 dolárov/MJ) (12 % z aktuálnej ceny) za najmenej posledné tri desaťročia.]

„Na rozdiel od kovov, po ktorých existuje dopyt už niekoľko storočí, spoločnosť iba sotva začala využívať urán. Zatiaľ sa uskutočnil iba jeden cyklus prieskum – objav – výroba, iniciovaný predovšetkým cenovými skokmi koncom 70. rokov.“

„Je predčasné hovoriť o dlhodobom nedostatku uránu, keď celý jadrový priemysel je taký mladý, že zatiaľ vyžadoval iba jeden cyklus obnovy zdrojov.“ [www.world-nuclear.org/info/inf75.html](http://www.world-nuclear.org/info/inf75.html).

Ďalšie čítanie: Herring (2004); Price a Blaise (2002); Cohen (1983).

IPCC citujúc OECD predpokladá, že na úrovni spotreby z roku 2004 vydržia konvenčné zásoby uránu a fosfátov na 670 rokov, v reaktoroch s jedným prechodom paliva, 20 000 rokov v rýchlych reaktoroch s recykláciou plutónia a 160 000 rokov v rýchlych reaktoroch s recykláciou uránu a všetkých aktinidov (Sims a kol., 2007).

165 *Japonskí vedci objavili technológiu ťažby uránu z morskej vody.* Odhad 100 dolárov za kg pochádza od Seko a kol. (2003) a [y3wnzr]; odhady ceny 300 dolárov za kg pochádzajú z Jadrovej energetickej agentúry OECD (OECD Nuclear Energy Agency) (2006, str. 130). Technika ťažby uránu zahŕňa namočenie tkaniva do oceánu na niekoľko mesiacov; tkanivo je vyrobené z polymérových vlákien, ktoré ešte pred namočením zlepkavejú pri ožiarení; lepkavé vlákna zbierajú urán v množstve 2 g uránu na jeden kilogram vlákna.

- *Náklady ťažby uránu by bolo možné znížiť kombináciou s ďalším využitím slanej vody – napríklad na chladenie elektrárne.* Myšlienku ostrova na jadrový pohon, ktorý by vyrábala vodík, priniesol C. Marchetti. Množivé reaktory by chladila morská voda a z nej by reaktory ťažili urán rýchlosťou 600 t uránu na 500 000 Mt morskej vody.

166 *Tóriové reaktory zabezpečia 3,6 miliardy kWh tepla z jednej tony tória.* Zdroj: [www.world-nuclear.org/info/inf62.html](http://www.world-nuclear.org/info/inf62.html). Zostáva priestor na zlepšenie tóriových reaktorov, takže tento údaj sa môže v budúcnosti zmeniť.

- *Alternatívny jadrový reaktor na spaľovanie tória, tzv. „energetický násobič“...* Pozri Rubbia a kol. (1995), [web.ift.uib.no/~lil-lestol/Energy\\_Web/EA.html](http://web.ift.uib.no/~lil-lestol/Energy_Web/EA.html), [32t5zt], [2qr3yr], [ynk54y].

- *Známe svetové zásoby tória v monazite.* Zdroj: Americká geologická služba (US Geological Survey), Mineral Commodity Summaries, January 1999 [y7tkm], citovaná v UIC Nuclear Issues Briefing Paper #67, november 2004.

„Iné minerálové rudy s vyšším obsahom tória, ako napríklad torit (kremičitan tóričitý), by sa pravdepodobne stali zdrojmi, ak by výrazne vzrástol dopyt.“ [yju4a4] vynecháva údaj pre Turecko, ktorý možno nájsť tu: [yeyr7z].

167 *Jadrový priemysel predal každému vo Veľkej Británii 4 kWh/d približne za obdobie 25 rokov.* Celková výroba k roku 2006 bola asi 2 200 TWh. Zdroj: Energetický prehľad Stephena Saltera pre Škótsku národnú stranu.

- *Úrad pre odstavovanie jadrových elektrární má ročný rozpočet 2 miliardy libier.* V skutočnosti sa zdá, že tento rozpočet stále rastie. Posledné údaje celkových nákladov potrebných na odstavenie jadrových elektrární sú 73 miliárd liber. news.bbc.co.uk/1/hi/uk/7215688.stm.
- *Kritika hlavného vyšetrovateľa jadrových zariadení bola zničujúca...* (Weightman, 2007).

168 *Jadrová energia nie je nekonečne nebezpečná.* Je iba nebezpečná. Ďalšie čítanie o riziku jadrovej energie: Kammen a Hasenzahl (1999).

- *Ľudia žijúci v Amerike v blízkosti uhoľných elektrární sú vystavení vyšším dávkam radiácie ako ľudia žijúci pri jadrových elektrárnach.* Zdroj: McBride a kol. (1978). V uhlí majú urán a tórium koncentrácie približne 1 ppm a 2 ppm. Ďalšie čítanie: gabe.web.psi.ch/research/ra/rares.html, www.physics.ohiostate.edu/~wilkins/energy/Companion/E20.12.pdf.xpdf.
- *Jadrová a veterná elektrina majú najnižšie miery úmrtí.* Pozri aj Jones (1984). Tieto údaje o úmrtnosti sú zo štúdií, ktoré predpovedajú budúcnosť. Môžeme sa pozrieť aj do minulosti. Veľká Británia vyrobila vďaka teplu z jadra 200 GWr elektriny a jadrový priemysel hlásil jedno úmrtie. Tento pracovník zomrel pri Chapelcrosse v roku 1978 [4f2ekz]. Jedna smrť na 200 GWr je neuveriteľne málo v porovnaní s uhoľným priemyslom. Odhadnúť mieru úmrtí pre jadrový priemysel celosvetovo je veľmi ťažké. Havária na Three Mile Island nezabila nikoho a následné priesaky podľa odhadov zabili najviac jedného človeka v čase havárie. Nehoda v Černobyle najprv zabila 62 ľudí, ktorí zomreli priamo na následok ožiarenia, a 15 miestnych ľudí zomrelo na rakovinu štítnej žľazy; podľa odhadov v blízkosti elektrárne zomrelo na následky rakoviny asi 4 000 ľudí a na celom svete ich bolo asi 5 000 (zo 7 miliónov, ktorí boli vystavení žiareniu z Černobylu) (Williams a Baverstock, 2006). Celkový počet úmrtí nie je možné určiť, pretože zo všetkých prípadov rakoviny v Európe až 25 % spôsobuje prirodzené žiarenie. Jeden zo spôsobov, ako určiť úmrtia na následky ožiarenia z jadrovej energie celosvetovo, je rozdelenie počtu úmrtí pri Černobyle (9 000) celkovým množstvom elektriny v rokoch 1969 až 1996, teda 3 685 GWr. To znamená 2,4 úmrtí na GWr. Čo sa týka veternej elektriny, Informačné fórum elektrárne v Caithness www.caithnesswindfarms.co.uk zaznamenalo celosvetovo 49 úmrtí v rokoch 1970 do 2007 (35 pracovníkov veterného priemyslu a 14 civilných osôb). V roku 2007 Paul Gipe napočítal 34 úmrtí na celom svete [www.wind-works.org/articles/BreathLife.html]. Uprostred 90. rokov uplynulého storočia bola úmrtnosť v dôsledku veternej elektriny 3,5 úmrtí na GWr. Podľa Paula Gipea klesla miera úmrtí na 1,3 úmrtia na GWr do konca roku 2000. Takže historická miera úmrtnosti v dôsledku využívania jadrovej a veternej energie je vyššia, ako sa predpokladá do budúcnosti.

169 *Oceľ a betón v 1 GW jadrovej elektrárni majú uhlíkovú stopu približne 300 000 ton CO<sub>2</sub>.* 1 GW jadrová elektrárňa je postavená z 520 000 m<sup>3</sup> betónu (1,2 milióna ton) a z 67 000 ton ocele [2k8y7o]. Ak predpokladáme 240 kg CO<sub>2</sub> na m<sup>3</sup> betónu [3pvf4j], potom je uhlíková stopa betónu približne 100 000 ton CO<sub>2</sub>. Podľa spoločnosti Blue Scope Steel [4r7zpg] je uhlíková stopa ocele približne 2,5 tony CO<sub>2</sub> na tonu ocele. Takže 67 000 ton ocele má uhlíkovú stopu približne 170 000 ton CO<sub>2</sub>.

170 *Diskusia o jadrovom odpade.* Zdroje: www.world-nuclear.org/info/inf04.html, [49hcnw], [3kduo7]. Nový jadrový odpad v porovnaní so starým. Výbor na spracovanie rádioaktívneho odpadu (Committee on Radioactive Waste Management) (2006).

172 *Svetové zásoby lítia sa odhadujú na 9,5 milióna ton v ložiskách rúd.* Hlavné zdroje lítia je možné nájsť v Bolívii (56,6 %), Čile (31,4 %) a USA (4,3 %). www.dnpm.gov.br

- *Existuje ešte iný zdroj lítia: morská voda...* Výskum sa zamerl na niekoľko metód ťažby lítia (Steinberg a Dang, 1975; Tsuruta, 2005; Chitrakar a kol., 2001).
- *Fúzia na báze lítia.* Energetická koncentrácia prírodného lítia je približne 7 500 kWh na gram (Ongena a Van Oost, 2006). Existuje pomerne široký rozptyl v odhadoch toho, ako účinne by fúzne reaktory dokázali premeniť lítium na elektrinu, pričom odhady kolíšu od 310 kWh/g (Eckhartt, 1995) do 3 400 kWh (e)/g prírodného lítia (Steinberg a Dang, 1975). Ja som predpokladal hodnotu 2 300 kWh/g, ktorá vychádza z tohto často citovaného súhrnného výpočtu: „1 GW fúzna elektrárňa spotrebuje približne 100 kg deutéria a 3 tony prírodného lítia za rok a vyrobí približne 7 miliárd kWh“. [69vt8r], [6oby22], [63l2lp].

Ďalšie čítanie o štiepení: Hodgson (1999), Nuttall (2004), Rogner (2000), Williams (2000). Uránové informačné centrum (Uranium Information Center) – [www.uic.com.au](http://www.uic.com.au). [www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org), [wnchw].

O nákladoch: Zaleski (2005).

O ukladaní jadrového odpadu: [shrln].

O množivých reaktoroch a tóriu: [www.energyfromthorium.com](http://www.energyfromthorium.com).

Ďalšie čítanie o fúzii: [www.fusion.org.uk](http://www.fusion.org.uk), [www.askmar.com/Fusion.html](http://www.askmar.com/Fusion.html).



## 25 Dovoz obnoviteľných zdrojov z iných krajín?

*Pre našu bezpečnosť bude mať strategický význam to, či sa stane v 21. storočí zo Stredozemia oblasť spolupráce, alebo konfrontácie.*

Joschka Fischer,  
nemecký minister zahraničných vecí, február 2004

Zistili sme, aké ťažké je zbaviť sa fosílnych palív pomocou vlastných obnoviteľných zdrojov. Jadrová energetika má tiež svoje vlastné problémy. Čo ešte môžeme urobiť? Čo tak využiť obnoviteľné zdroje energie zo zahraničia? Samozrejme, nie preto, že by sme na to mali nejaké právo, ale možno by tieto krajiny mali záujem nám svoje zdroje predávať.

Väčšina zdrojov potrebných pre udržateľný život sa viaže na plochu. Ak chcete mať solárne panely, potrebujete plochu, na ktorú ich umiestnite. Ak chcete pestovať obilie, znovu potrebujete plochu. Jared Diamond v knihe *Kolaps* zistil, že hoci ku kolapsu civilizácií prispelo veľa faktorov, spoločným znakom všetkých bolo, že hustota populácie bola príliš vysoká.

Oblasti ako Veľká Británia a Európa majú problém, pretože hustota populácie je vysoká a všetky dostupné obnoviteľné zdroje sú rozptýlené – majú nízku koncentráciu výkonu (tab. 25.1). Keď hľadáme pomoc, mali by sme hľadať krajinu splňajúcu tri podmienky: a) nízka hustota obyvateľstva; b) veľká rozloha a c) obnoviteľný zdroj výkonu s vysokou koncentráciou energie.

Región	Populácia	Rozloha (km <sup>2</sup> )	Hustota (obyvateľov na km <sup>2</sup> )	Rozloha na obyvateľa (m <sup>2</sup> )
Libya	5 760 000	1 750 000	3	305 000
Kazachstan	15 100 000	2 710 000	6	178 000
Saudská Arábia	26 400 000	1 960 000	13	74 200
Alžírsko	32 500 000	2 380 000	14	73 200
Sudán	40 100 000	2 500 000	16	62 300
Svet	6 440 000 000	148 000 000	43	23 100
Škótsko	5 050 000	78 700	64	15 500
Európska únia	496 000 000	4 330 000	115	8 720
Wales	2 910 000	20 700	140	7 110
Veľká Británia	59 500 000	244 000	243	4 110
Anglicko	49 600 000	130 000	380	2 630

Tabuľka 25.2 zobrazuje niektoré krajiny, ktoré požiadavkám vyhovujú. Napríklad hustota populácie Líbye je 70-násobne nižšia, ako má Veľká Británia a jej rozloha je 7-násobne väčšia. Iné veľké krajiny sú Kazachstan, Saudská Arábia, Alžírsko a Sudán.

### VÝKON NA JEDNOTKOVÚ ROZLOHU KRAJINY ALEBO VODY

Vietor	2 W/m <sup>2</sup>
Vietor na mori pri pobreží	3 W/m <sup>2</sup>
Prílivová akumulácia elektrárne	3 W/m <sup>2</sup>
Prílivová prietoková elektrárne	6 W/m <sup>2</sup>
FV panely	5 - 20 W/m <sup>2</sup>
Rastliny	0,5 W/m <sup>2</sup>
Dažďová voda (vysočiny)	0,24 W/m <sup>2</sup>
Vodná elektrárne	11 W/m <sup>2</sup>
Solárna komínová elektrárne	0,1 W/m <sup>2</sup>
<b>Koncentračná solárna elektrárne (púšť)</b>	<b>15 W/m<sup>2</sup></b>

Tabuľka 25.1 Zariadenia pre obnoviteľné zdroje by museli mať v niektorých prípadoch rozmery krajiny, pretože všetky obnoviteľné zdroje sú rozptýlené – majú nízku koncentráciu výkonu.

Tabuľka 25.2 Vybrané oblasti usporiadané podľa hustoty obyvateľstva vzostupne. Pozri stranu 338 pre ďalšie hustoty obyvateľov.



Obrázok 25.3 Stirlingov motor s tanierovitým zrkadlom. Tieto nádherné koncentrátoory dodávajú plošný výkon  $14 \text{ W/m}^2$ . Fotografia s láskavým povolením: Stirling Energy Systems. [www.stirlingenergy.com](http://www.stirlingenergy.com)



Obrázok 25.4 Andasol – rozostavaná „100 MW“ solárna elektrárňa v Španielsku. Nadbytočné teplo vyrobené cez deň sa uloží v nádržiach s tekutou soľou až na sedem hodín a zásobuje sieť nepretržitým a stabilným elektrickým výkonom. Elektrárňa by mala podľa predpokladov vyrábať 350 GWh za rok (40 MW). Parabolické žlaby zaberajú 400 hektárov, preto výkon na jednotku plochy krajiny bude  $10 \text{ W/m}^2$ . Horná fotografia: ABB. Nižšia fotografia: IEA SolerPACES.

Myslím, že vo všetkých týchto krajinách je najslubnejším obnoviteľným zdrojom slnečné žiarenie, obzvlášť koncentračné solárne elektrárne, ktoré využívajú zrkadlá alebo šošovky na smerovanie slnečných lúčov. Koncentračné solárne elektrárne majú niekoľko podôb. Dokážu nasmerovať pohyblivé zrkadlá do rôznych uhlov a polôh a majú možnosť využiť rozličné technológie premien energie v ohnisku – napríklad Stirlingové motory, stlačená voda alebo roztavené soli. Všetky tieto spomenuté technológie zabezpečujú veľmi podobné množstvá priemernej energie na jednotku plochy, približne  $15 \text{ W/m}^2$ .

### Slubná technológia

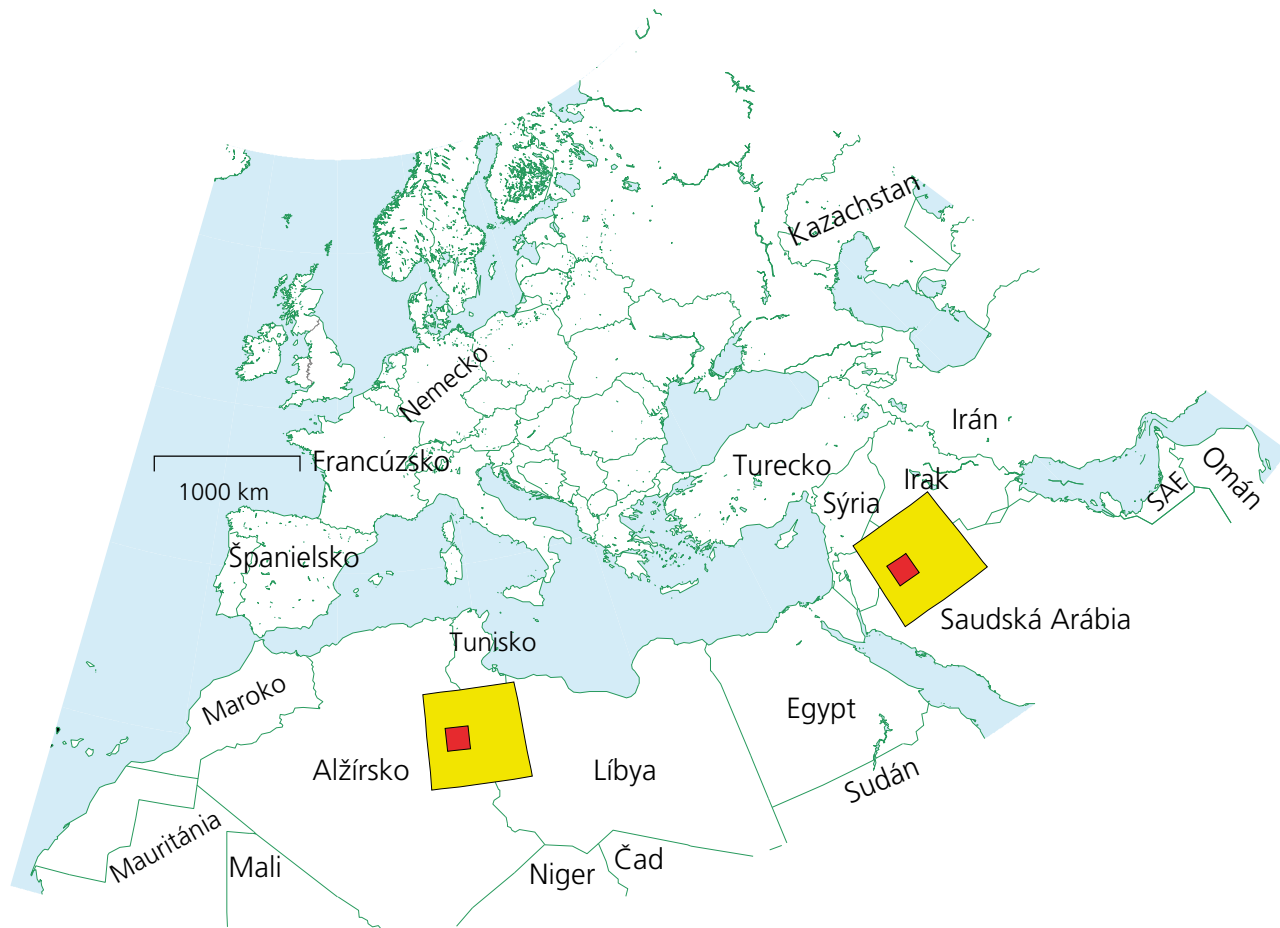
„Všetok príkon pre svet by pokrýval štvorec na Sahare s rozlohou  $100 \text{ km} \times 100 \text{ km}$ .“ Je to pravda? Koncentračné solárne elektrárne v púšťach sú schopné zabezpečiť v priemere približne  $15 \text{ W/m}^2$ . Ak by sme v tomto priestore nemali umiestnené nič iné, dodávaná energia by predstavovala 150 GW. To však nie je to isté množstvo ako súčasná svetová spotreba energie. Nepribližuje sa to dokonca ani svetovej spotrebe *elektriny*, ktorá je 2 000 GW. Dnešná svetová spotreba energie je 15 000 GW. Takže správne znenie by bolo, že súčasnú spotrebu energie by pokrýval štvorec na Sahare s rozlohou  $1\,000 \text{ km} \times 1\,000 \text{ km}$ , celkom pokrytý koncentračnými solárnymi elektrárnami. To je štvornásobok rozlohy Veľkej Británie. Ak chceme žiť v rovnoprávnom svete, mali by sme smerovať k vyššej spotrebe, ako je tá *dnešná*. Aby sme zabezpečili každému na svete spotrebu energie priemerného Európana, potrebovali by sme plochu *dvoch* štvorcov s rozlohou  $1\,000 \text{ km} \times 1\,000 \text{ km}$  na púšti.

Našťastie Sahara nie je jediná púšť, takže možno je vhodnejšie rozdeliť svet na niekoľko menších regiónov a spýtať sa, akú plochu v každom z týchto regiónov potrebujeme. Ak sa zameriame na Európu, „akú rozlohu potrebujeme v severnej Sahare, aby sme zásobovali *každého* v Európe a severnej Afrike priemerným európskym príkonom“? Pri populácii Európy a Severnej Ameriky okolo 1 miliardy klesá požadovaná plocha na  $340\,000 \text{ km}^2$ , čo zodpovedá štvorcu **600 km krát 600 km**. Ide o plochu s rozlohou Nemecka, 1,4 Veľkej Británie alebo **16 Walesov**.

Na Veľkú Britániu by z rozlohy 16 Walesov pripadal jeden Wales: štvorec s rozlohou  $145 \text{ km} \times 145 \text{ km}$  na Sahare by zabezpečoval pre Veľkú Britániu všetku spotrebu primárnej energie. Štvorce znázorňuje obrázok 25.5. Všimnite si, že žltý štvorec môže v porovnaní s celou Afrikou vyzeráť „malý“, má však rozlohu Nemecka.

### Plán DESERTEC

Organizácia s názvom DESERTEC [[www.desertec.org](http://www.desertec.org)] presadzuje plán využitia koncentračných solárnych elektrární v slnečných krajinách Stredozemia na prenos elektriny vysokonapäťovým vedením s jednosmerným prúdom (high-voltage direct current, HVDC) (obr. 25.7), ktorá by zabezpečovala elektrinu pre oblačné severné časti Európy. Technológia HVDC sa používa



od roku 1954 na prenos elektriny nadzemným vedením alebo podmorskými káblami (ako napríklad spojenie medzi Francúzskom a Anglickom). Už dnes sa používa na prenos elektriny na vzdialenosti tisícov km v južnej Afrike, Číne, Amerike, Kanade a Kongu. Typický 500 kV kábel dokáže prenášať výkon 2 GW. Dva HVDC káble v Brazílii prenášajú 6,3 GW.

Prenos HVDC sa uprednostňuje pred tradičným vysokonapäťovým AC vedením [AC znamená striedavý prúd – pozn. prekl.], pretože vyžaduje menej zariadení, menšiu rozlohu a straty pri prenose sú menšie. Straty výkonu na 3 500 km dlhú vzdialenosť pomocou HVDC, vrátane premeny zo striedavého na jednosmerný púd a naspäť, sú približne 15 %. Ďalšou výhodou systémov HVDC je, že pomáhajú stabilizovať elektrické siete, na ktoré sú napojené.

V plánoch projektu DESERTEC by sa prednostne mali využívať pobrežné oblasti, pretože solárne elektrárne blízko morí môžu vyrábať ako vedľajší produkt odsolenú vodu – cennú pre ľudí aj pre poľnohospodárstvo.

Obrázok 25.5 Oslavovaný malý štvorec. Táto mapa ukazuje jeden štvorec s veľkosťou 600 km krát 600 km v Afrike a druhý v Saudskej Arábii, Jordánsku, a Iraku. Elektrárne s koncentrovaným slnečným výkonom vyplňajúce tento priestor by dokázali zabezpečiť dostatok výkonu pre 1 miliardu ľudí s priemernou spotrebou Európana 125 kWh/d. Rozloha jedného štvorca je taká istá, ako rozloha Nemecka, a 16-krát väčšia ako má Wales. V každom veľkom štvorci je menší s rozlohou 145 km × 145 km a ukazuje rozlohu na Sahare – jeden Wales – potrebnú pre zabezpečenie spotreby Veľkej Británie.

Tabuľka 25.6 Potenciál slnečného výkonu v krajinách v blízkom okolí Európy. „Ekonomický potenciál“ je výkon, ktorý je možné vyrobiť na vhodných miestach, kde je normálna intenzita priameho žiarenia 2 000 kWh/m<sup>2</sup>/rok.

Pobrežný potenciál je výkon, ktorý je možné vyrobiť v rozmedzí 20 (výškových) metrov od hladiny oceánu; takýto výkon je obzvlášť sľubný pre potenciálnu kombináciu s odsolovaním.

Na porovnanie, celkový požadovaný výkon 125 kWh za deň pre 1 miliardu ľudí je 46 000 TWh/rok (5 200 GW). V tabuľke uvedených 6 000 TWh/rok (650 GW) predstavuje 16 kWh za deň na osobu pre jednu miliardu ľudí.

\*Spojené arabské emiráty

Krajina	Ekonomický potenciál (TWh/rok)	Potenciál pobrežia (TWh/rok)
Alžírsko	169 000	60
Líbya	140 000	500
Saudská Arábia	125 000	2 000
Egypt	74 000	500
Irak	29 000	60
Maroko	20 000	300
Omán	19 000	500
Sýria	10 000	0
Tunisko	9 200	350
Jordánsko	6 400	0
Jemen	5 100	390
Izrael	3 100	1
SAE*	2 000	540
Kuvajt	1 500	130
Španielsko	1 300	70
Katar	800	320
Portugalsko	140	7
Turecko	130	12
Spolu	620 000 (70 000 GW)	6 000 (650 GW)

Tabuľka 25.6 ukazuje odhady potenciálu výkonu podľa plánu DESERTEC, ktorý by bolo možné vyrábať v krajinách Európy a v severnej Afrike. „Ekonomický potenciál“ je schopný zabezpečiť viac ako dosť z požadovaných 125 kWh za deň pre 1 miliardu ľudí. Celkový „potenciál pobrežia“ dokáže zabezpečiť 16 kWh za deň na osobu pre 1 miliardu ľudí.

Skúsme znázorniť na mape, ako by mohol vyzeráť realistický plán. Predstavme si solárne elektrárne s rozlohou 1 500 km<sup>2</sup> – to je približne veľkosť Londýna (Londýn má rozlohu 1 580 km<sup>2</sup>; vnútorná rozloha obchvatu diaľnice M25 okolo Londýna má 2 300 km<sup>2</sup>). Nazvime každé zariadenie „krúžok“. Ďalej si predstavme, že v každom z týchto krúžkov zaberá polovicu plochy koncentračná solárna elektráreň s priemernou koncentráciou výkonu 15 W/m<sup>2</sup> a časť miesta zostáva pre poľnohospodárstvo, budovy, železnice, cesty, potrubia a káble. So stratami výkonu 10 % pri prenose medzi elektrárnou a zákazníkom to znamená príkon spotrebiteľom 10 GW z každej elektrárne. Obrázok 25.8 ukazuje krúžky na mape v skutočnej veľkosti. Aby sme mali predstavu o rozlohe krúžku, pár som ich umiestnil aj do Veľkej Británie. Štyri z nich by mali výkon rovný zhruba celkovej spotrebe elektriny Veľkej Británie (16 kWh/deň na osobu pre 60 miliónov ľudí). Šesťdesiatpäť krúžkov by poskytlo pre 1 miliardu ľudí v Európe a severnej Afrike 16 kWh/d na osobu. Obrázok 25.8 ukazuje 68 krúžkov v púšti.



Obrázok 25.7 Ukladanie vysokonapäťového DC spojenia medzi Fínskom a Estónskom. Dvojica týchto káblov prenáša výkon 350 MW. Fotografia: ABB.



Obrázok 25.8 Každý krúžok predstavuje plochu 1 500 km<sup>2</sup>, z ktorej jednu polovicu vyplňajú zariadenia na výrobu elektriny zo slnečného žiarenia, v priemere 10 GW. 65 takýchto krúžkov by zabezpečilo 1 miliardu ľudí 16 kWh/d na osobu.



Obrázok 25.9 25 kW (maximum) koncentračný fotovoltaický panel od kalifornského výrobcu Amonix. Jeho 225 m<sup>2</sup> obsahuje 5 760 Fresnelových šošoviek s 260-násobnou optickou koncentráciou, z ktorých každá osvetľuje kremíkový článok s 25 % účinnosťou. Jeden takýto panel, na vhodnej lokalite na púšti, vyrobí denne 138 kWh – dosť pre pokrytie polovice spotreby energie priemerného Američana. Všimnite si človeka pre znázornenie proporcie. Fotografia: David Faiman.

### Koncentračná fotovoltaika

Alternatívou ku koncentračným tepelným solárnym elektrárnami v púšťach sú veľkoplošné koncentračné fotovoltaické systémy. Aby sme ich mohli vyrobiť, zameriame sa na vysoko kvalitné FV články, ktoré sú v ohnisku lacných šošoviek alebo zrkadiel. Faiman a kol. (2007) hovoria, že „slnčné žiarenie v koncentrovanej podobe s využitím FV článkov dokáže pohodlne konkurovať fosílnym palivám [v púštnych štátoch, akým je Kalifornia, Arizona, Nové Mexiko a Texas] bez akejkoľvek potreby dotácií“.

Podľa spoločnosti Amonix by takáto forma koncentrovaného solárneho príkonu mala priemerný elektrický výkon na plochu 18 W/m<sup>2</sup>.

Iný spôsob, ako získať predstavu o potrebnom zariadení, je vyjadrenie na osobu. Jeden z panelov na obrázku 25.9 s inštalovaným výkonom 25 kW vyrába v priemere približne 138 kWh denne; životný štýl Američana dnes znamená spotrebu 250 kWh za deň na osobu. Takže, aby sme zbavili fosílnych palív USA pomocou solárnej energie, potrebujeme zhruba dva z týchto 15 m × 15 m panelov na osobu.

### Otázky

***Som zmätený! V kapitole 6 ste povedali, že najlepšie fotovoltaické panely dodávajú v priemere 20 W/m<sup>2</sup>, a to na mieste, ako je Veľká Británia, kde menej svieta slnko. Logicky by tie isté panely na púšti dodali 40 W/m<sup>2</sup>. Ako to, že elektrárne s koncentračným solárnym výkonom dodávajú iba 15 – 20 W/m<sup>2</sup>? Ved' koncentrovaný výkon by mal byť ešte lepší ako obyčajné ploché panely.***

Dobrá otázka. Krátka odpoveď je nie. Koncentračná solárna elektrárňa neznamená viac výkonu na jednotku plochy ako obyčajné ploché panely. Zariadenie pre koncentrovanie slnečného žiarenia musí sledovať Slnko, inak nebudú slnečné lúče nasmerované správne. Len čo začnete po zemi rozkladať zariadenia na koncentrovanie žiarenia, musíte medzi nimi nechať medzery. Veľa svetla týmito medzerami prejde a zostane nevyužitého. Dôvod, prečo sa dnes uprednostňujú koncentračné solárne elektrárne, je ten, že ploché FV panely sú veľmi drahé a zariadenia na koncentrovanie žiarenia sú lacnejšie. Úlohou ľudí, ktorí sa venujú koncentrovaniu, nie je zvyšovanie energetickej hustoty. Pôda je lacná (predpokladajú). Cieľ je vyrobiť čo najviac energie za investované peniaze.

***Ak majú ploché panely vyššiu koncentráciu výkonu, prečo nehovoríte o tom, že by sme mali pokryť Saharu pomocou nich?***

Pretože sa snažím diskutovať o praktických riešeniach pre veľkoplošné získavanie trvalo udržateľnej elektriny pre Európu a severnú Afriku do roku 2050. Odhadujem, že do roku 2050 budú zrkadlá stále lacnejšie ako FV panely, takže koncentračné slnečné elektrárne sú tou technológiou, na ktorú by sme sa mali zamerať.

### A čo komínové solárne elektrárne?

Komínové solárne elektrárne alebo slnečné vzostupné veže využívajú slnečnú energiu veľmi jednoduchým spôsobom. Postaví sa obrovský komín v strede kruhovej plochy zakrytej priehľadnou strechou zo skla alebo plastu, v ktorom sa zohrieva vzduch. Pretože teplý vzduch stúpa nahor, prúdi zo skleníka hore komínom a vťahuje do chladiča vzduch z okolia. Energia sa získava z prúdenia vzduchu pomocou turbín v spodnej časti komína. Stavba komínových elektrární je pomerne jednoduchá, ale nezabezpečuje veľmi vysokú koncentráciu výkonu. Pilotný projekt v Manzanarese v Španielsku fungoval sedem rokov od roku 1982 do roku 1989. Komín mal výšku 195 m a priemer 10 m; kolektor mal priemer 240 m a jeho strecha mala 6 000 m<sup>2</sup> zo skla a 40 000 m<sup>2</sup> z priehľadného plastu. Vyrobil 44 MWh ročne, čo zodpovedá výkonu na plochu 0,1 W/m<sup>2</sup>. Teoreticky, čím väčší kolektor a čím vyšší komín, tým sa dosahuje vyššia koncentrácia výkonu. Inžinieri projektu v Manzanarese odhadujú, že na lokalite so slnečným žiarením 2 300 kWh/m<sup>2</sup> za rok (262 W/m<sup>2</sup>) by 1 000 m vysoká veža, obklopená kolektorom s priemerom 7 km, dokázala vyrobiť 680 GWh za rok, teda v priemere výkon 78 MW. To znamená koncentráciu výkonu 1,6 W/m<sup>2</sup>, čo je podobná hodnota, ako dosahujú veterné elektrárne vo Veľkej Británii a asi desaťnásobne menej, ako by dodávali koncentračné slnečné elektrárne. Tvrdí sa, že komínové elektrárne by dokázali vyrábať elektrinu pri cene porovnateľnej s klasickými fosílnymi elektrárnami. Navrhujem, aby krajiny, ktoré majú v zásobe dostatok pôdy a slnečného žiarenia, vytvorili prostredie pre konkurenčný boj medzi komínovými elektrárnami a koncentračnou fotovoltikou, ktorý by zaplatili krajiny ťažiace a spotrebúvajúce ropu.

### Čo tak získavať energiu z Islandu, kde je nadbytok geotermálnej energie a elektriny z vody?

Áno, Island prakticky už dnes vyváža energiu tým, že poháňa priemysel, ktorý vyrába energeticky náročné výrobky. Island vyrába napríklad takmer jednu tonu hliníka na obyvateľa! Z pohľadu Islandu existujú veľké možnosti, ako vytvoriť zisk. Môže však Island zachrániť Európu? Prekvapilo by ma, ak by výroba elektriny na Islande mohla byť zvýšená natoľko, aby to mohlo znamenať výrazný vývoz čo i len pre samotnú Veľkú Britániu. Ako príklad porovnajme britsko-francúzske prepojenie, ktoré dokáže zabezpečiť až do 2 GW cez kanál La Manche. Tento maximálny výkon zodpovedá 0,8 kWh za deň na osobu vo Veľkej Británii, čiže zhruba 5 % priemernej spotreby elektriny. Priemerná výroba geotermálnej elektriny na Islande je iba 0,3 GW, čo je menej ako 1 % priemernej spotreby elektriny vo Veľkej Británii. Priemerná výroba všetkej elektriny na Islande je 1,1 GW. Takže na vytvorenie spojenia, ktoré by malo kapacitu rovnakú, ako spojenie s Francúzskom, by musel Island *stojnásobiť* svoju výrobu elektriny. Aby nám Island mohol poskytnúť 4 kWh za deň na osobu (teda zhruba toľko, ako si Veľká Británia zado- váži z atómových elektrární), musel by svoju výrobu zvýšiť *desaťnásobne*. Vybudovať prepojenie s Islandom pravdepodobne nie je zlá myšlienka, ale



Obrázok 25.10 Prototyp solárnej komínovej elektrárne v Manzanarese. Fotografie: solarmillennium.de.



Obrázok 25.11 Viac geotermálnej elektriny na Islande. Fotografie: Rossie Ward.

neočakávajme, že nám poskytne viac ako iba malý podiel našej spotreby.

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo



Obrázok 25.12 Dvaja inžinieri skladajúci koncentračnú slnečnú elektrárňu eSolar za použitia heliostatov (zrkadlá, ktoré sa otáčajú a nakláňajú za Slnkom). Esolar.com vyrába slnečné elektrárne strednej veľkosti: 33 MW (maximum) zariadenie na 64 hektároch. To je maximum 51 W/m<sup>2</sup>. Povedal by som, že na typickej lokalite na púšti by vyrobili približne jednu štvrtinu tohto množstva: 13 W/m<sup>2</sup>.

178 *Koncentračné solárne elektrárne na púšťach zabezpečujú v priemere približne 15 W/m<sup>2</sup>*. Moje zdroje pre toto číslo sú dve spoločnosti vytvárajúce elektrinu v koncentračných solárnych elektrárňach na púšťach.

Podľa [www.stirlingenergy.com](http://www.stirlingenergy.com) jeden z jeho parabolických reflektorov s 25 kW Stirlingovým motorom v ohnisku dokáže vyrábať 60 000 kWh/rok, na vhodnej lokalite. Paraboly je možné umiestniť v hustote jedna parabola na plochu 500 m<sup>2</sup>. To predstavuje priemerný výkon 14 W/m<sup>2</sup>. Ďalej je podľa tejto spoločnosti Stirlingov motor s parabolickým koncentrátorom najlepším využitím plochy krajiny, čo sa týka množstva dodanej elektriny.

[www.ausra.com](http://www.ausra.com) používa ploché zrkadlá na ohrev vody na 285 °C a chod parnej turbíny. Pod tlakom zohriatu vodu je možné uskladniť v podzemných nádržiach s kovovým obložením, čo umožňuje výrobu elektriny aj v noci. Výrobcovia v popise „240 MW“ elektrárne navrhovanej pre Austráliu (Mills a Liévre, 2004) tvrdia, že 3,5 km<sup>2</sup> zrkadiel by zabezpečilo 1,2 TWh, čo je 38 W/m<sup>2</sup> na plochu zrkadla. Aby sme zistili koncentráciu výkonu, musíme počítať aj s medzerami medzi zrkadlami. Podľa spoločnosti Ausra je potrebný štvorec 153 km × 153 km v púšti na zabezpečenie všetkej spotreby elektriny v USA (Mills a Morgan, 2008). Celková spotreba elektriny v USA je 2 600 TWh/rok, takže koncentrácia výkonu je 18 W/m<sup>2</sup>. Táto technológia sa nazýva *kompaktný lineárny Fresnelov reflektor* (Mills a Morison, 2000; Mills a kol., 2004; Mills a Morgan, 2008). Mimochodom, namiesto spojenia „koncentračné solárne elektrárne“ spoločnosť Ausra uprednostňuje termín *solárna termálna elektrina* (STE). Zvýrazňuje tak výhody tepelných zásobníkov v kontraste s koncentračnou fotovoltikou, ktorá nemá takúto možnosť.

Trieb a Knies (2004), ktorí silno podporujú koncentračné solárne elektrárne, určili, že alternatívne technológie využívajúce koncentrovanú slnečnú energiu majú výkony na jednotku plochy v nasledujúcom rozsahu: parabolické žľaby 14-19 W/m<sup>2</sup>; lineárny fresnelov kolektor 19-28 W/m<sup>2</sup>; veža s heliostatmi 9-14 W/m<sup>2</sup>; Stirlingov motor s parabolickým koncentrátorom 9-14 W/m<sup>2</sup>.

Existujú tri európske demonštračné koncentračné solárne elektrárne. Andasol – využíva parabolické žľaby; Solucar PS10, veža blízko Seville, a Solartres, veža využívajúca roztavenú soľ na uskladňovanie tepla. Systém parabolických žľabov Andasol na obrázku 25.4 by mal dodať 10 W/m<sup>2</sup>. „11 MW“ veža Solucar má 624 zrkadiel, každé má 121 m<sup>2</sup>. Zrkadlá koncentrujú slnečné žiarenie na hodnotu do 650 kW/m<sup>2</sup>. Odberateľ získava maximálne 55 MW. Elektrárňou dokáže uskladniť 20 MWh energie, ktorá jej umožňuje fungovať aj keď je 50 minút zamračené. Podľa predpokladov mala vyrábať 24,2 GWh elektriny za rok na ploche 55 hektárov. To je priemerná koncentrácia výkonu 5 W/m<sup>2</sup>. (Zdroj: Výročná správa Abengoa 2003.) Solartress bude na ploche 142 hektárov a mal by vyrábať 96,4 GWh za rok; to je koncentrácia výkonu 8 W/m<sup>2</sup>. Andasol a Solartres budú obe využívať určité množstvo zemného plynu.



179 Už dnes sa [HVDC] používa na prenos elektriny na vzdialenosti tisícov km v Južnej Afrike, Číne, Amerike, Kanade, a Kongu. Zdroje: Asplund (2004), Bahrman a Johnson (2007). Ďalšie čítanie o HVDC: Carlsson (2002).

- *Straty výkonu na 3 500 km dlhú vzdialenosť pomocou HVDC, vrátane premeny zo striedavého prúdu na jednosmerný a naspäť, sú približne 15 %.* Zdroje: Trieb a Knies (2004); van Voorthuysen (2008).

182 Podľa Amonixu by takáto forma koncentrovaného solárneho príkonu mala priemerný elektrický výkon na jednotku územia  $18 \text{ W/m}^2$ . Predpoklady, z ktorých vychádza [www.amonix.com](http://www.amonix.com), sú nasledujúce: šošovky prepúšťajú 85 % svetla; články majú účinnosť 32 %; celý kolektor má účinnosť 25 %; a 10 % sú ďalšie straty tienením. Pomer apertúra/zem je 1/3. Normálna priama ožiarenosť je  $2\,222 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$ . V prípade maximálneho výkonu sa očakáva  $2\,000 \text{ kWh/rok}$  (čo je priemer  $0,23 \text{ kW}$ ). Zariadenie s inštalovaným výkonom  $1 \text{ GW}$  by zaberalo  $12 \text{ km}^2$  krajiny a dodávalo  $2\,000 \text{ GWh}$  za rok. To predstavuje  $18 \text{ W/m}^2$ .

183 *Slnčné komíny.* Zdroje: Schlaich J (2001); Schlaich a kol. (2005); Denis (2006), [www.enviromission.com.au](http://www.enviromission.com.au), [www.solarairpower.com](http://www.solarairpower.com).

- *Priemerná výroba elektriny z geotermálnej energie je iba  $0,3 \text{ GW}$ . Priemerná výroba všetkej elektriny z geotermálnej energie na Islande je  $1,1 \text{ GW}$ .* Toto sú štatistiky pre rok 2006:  $7,3 \text{ TWh}$  elektriny z vodnej energie a  $2,6 \text{ TWh}$ , s kapacitou  $1,16 \text{ GW}$ , respektíve  $0,42 \text{ GW}$ . Zdroj: Orkustofnun National Energy Authority [[www.os.is/page/energystatistics](http://www.os.is/page/energystatistics)].

Ďalšie čítanie: Európska komisia (2007), German Aerospace Center (DLR) Institute of Technical Thermodynamics Section Systems Analysis and Technology Assessment (2006), [www.solarmillennium.de](http://www.solarmillennium.de).

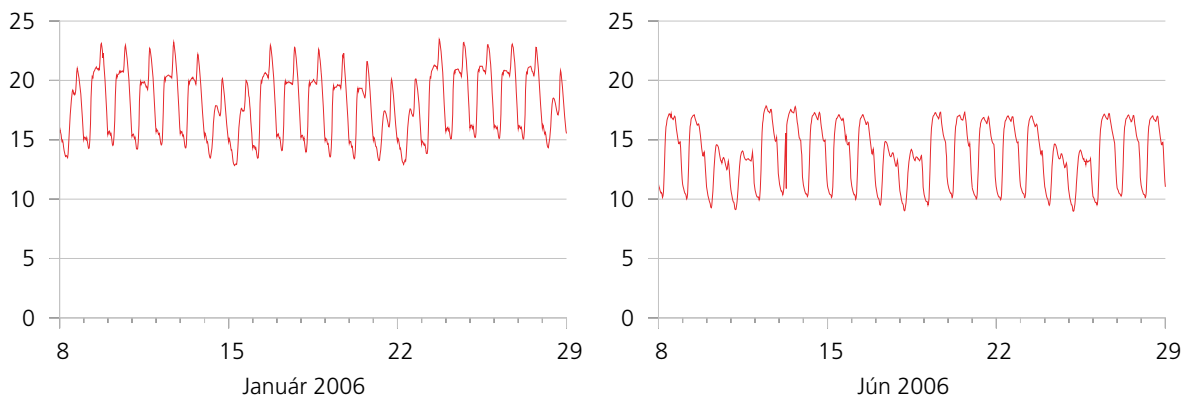


Obrázok 25.13 Vysokonapäťové zariadenie jednosmerného prúdu v Číne. Fotografia: ABB.

## 26 Fluktuácie a uskladnenie energie

*Vietor, ako priama hybná sila, je celkom nepoužiteľný na pohon strojov, pretože bezvetrie by celú krajinu vyradilo z prevádzky. Pred érou parných strojov sa veterné mlyny používali na vysušovanie baní, ale hoci išlo o silné stroje, ich výkon bol veľmi nepravidelný, takže v časoch dlhého bezvetria došlo k zaplaveniu baní a všetci robotníci prestali pracovať.*

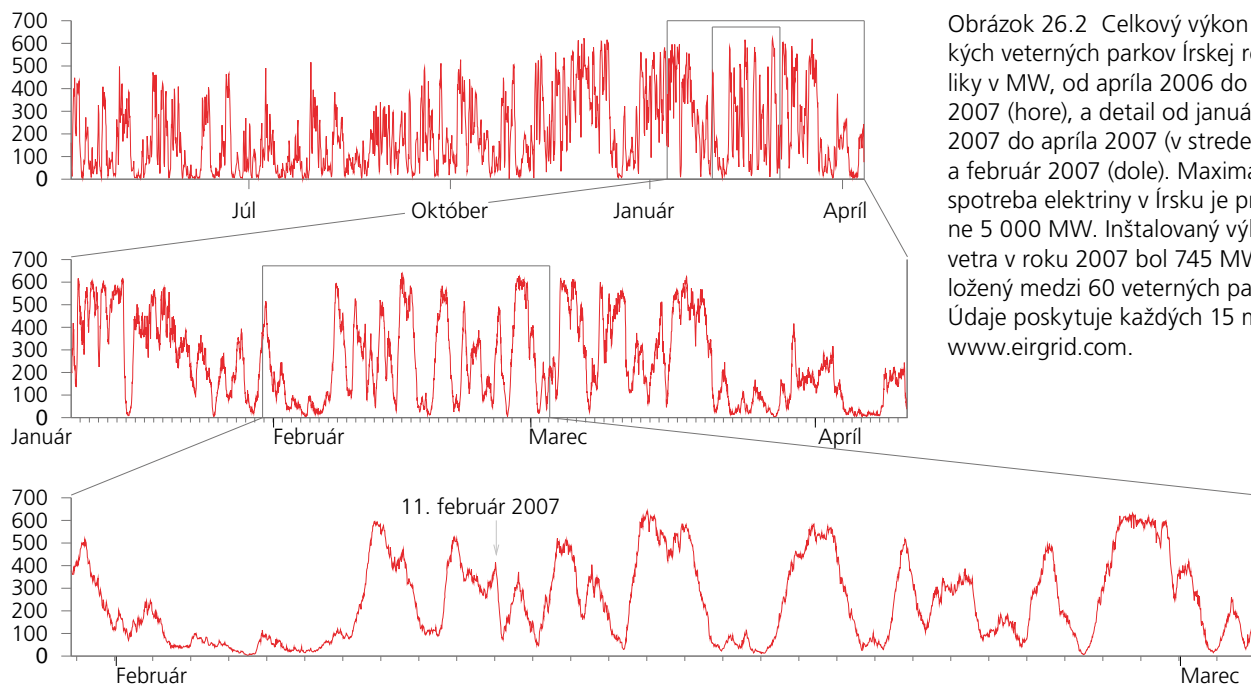
William Stanley Jevons, 1865



Obrázok 26.1 Spotreba elektriny vo Veľkej Británii (v kWh/d na osobu) počas dvoch týždňov v zime a dvoch týždňov v lete v roku 2006. Vrcholy v januári sú o 18.00 každý deň. Viditeľný je 5-dňový pracovný týždeň počas leta a zimy. (Ak by ste chceli získať národnú spotrebu v GW, majte na pamäti, že 24 kWh/d na osobu je to isté ako 60 GW na úrovni Veľkej Británie.)

Ak sa zbavíme fosílnych palív a energiu budeme získavať iba z obnoviteľných zdrojov, *alebo* iba z jadra, *alebo* z oboch týchto zdrojov, môžeme mať problém. Väčšinu obnoviteľných zdrojov nie je možné ľubovoľne zapnúť alebo vypnúť. Keď fúka vietor a vyjde Slnko, zdroje sú dostupné; ale už možno o dve hodiny neskôr to nie je pravda. Jadrové elektrárne zväčša tiež nie sú konštruované pre rýchle spustenie alebo vypnutie. Väčšinou sú celý čas v prevádzke a ich výkon možno znížiť alebo zvýšiť až v priebehu hodín. To predstavuje problém, pretože v elektrickej sieti musí byť po väčšinu času spotreba a výroba vyrovnaná. Elektrická sieť nedokáže *uskladňovať* energiu. Aby sme mali zmysluplný plán na každú hodinu a deň, *potrebujeme niečo ľahko zapnutelné a vypnutelné*. Vo všeobecnosti sa predpokladá, že to niečo ľahko zapnutelné a vypnutelné by malo byť *zdrojom* výkonu, ktorý je možno zapnúť a vypnúť, aby bolo možné kompenzovať výkyvy výroby vo vzťahu k spotrebe (ako je napríklad elektráreň na fosílné palivo). Ale iný, rovnako účinný spôsob na vyrovnanie výroby a spotreby (alebo dopytu), by bola ľahko zapnutelná a vypnutelná *spotreba* - využívanie elektrickej práce, ktoré je možné vypnúť a zapnúť ako mávnutím čarovného prútika.

V každom prípade to niečo ľahko zapnutelné a vypnutelné musí byť *niečo veľké*, pretože spotreba elektriny kolíše veľmi výrazne (obr. 26.1). Spotreba sa niekedy významne mení v priebehu niekoľkých minút. Táto kapitola sa zaoberá problémom, ako sa s takýmito výkyvmi v ponuke a spotrebe vyrovnáť bez fosílnych palív.



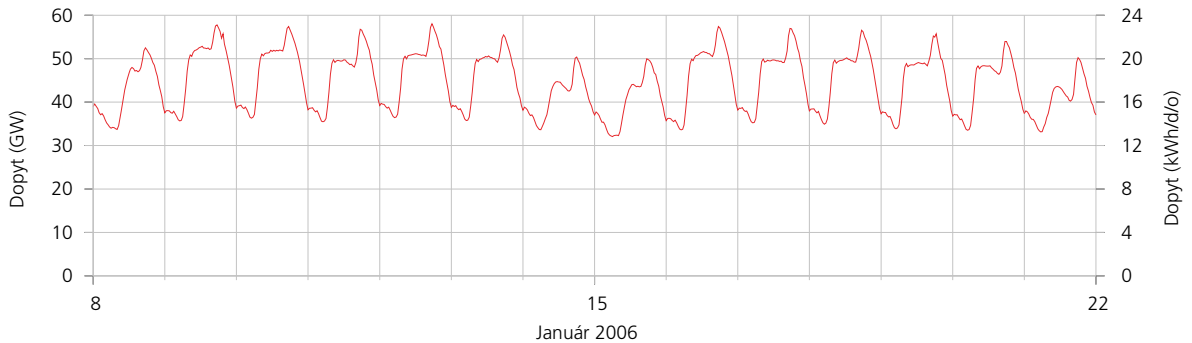
Obrázok 26.2 Celkový výkon všetkých veterných parkov Írskej republiky v MW, od apríla 2006 do apríla 2007 (hore), a detail od januára 2007 do apríla 2007 (v strede), a február 2007 (dole). Maximálna spotreba elektriny v Írsku je približne 5 000 MW. Inštalovaný výkon vetra v roku 2007 bol 745 MW rozložený medzi 60 veterných parkov. Údaje poskytuje každých 15 minút [www.eirgrid.com](http://www.eirgrid.com).

## Aké sú výkyvy obnoviteľných zdrojov?

Akokoľvek milujeme obnoviteľné zdroje, nemôžeme sa tváriť, že nevidíme premenlivosť vetra.

Kritici veternej energie hovoria: „Výkon vetra je premenlivý a nepredvídateľný, takže nemôže prispieť k bezpečným dodávkam. Keď vyrobíme veľa výkonu z vetra, budeme musieť zapnúť veľa elektrární na fosílny pohon, aby nahradili vietor, keď nefúka.“ Titulky v štýle „Nedostatok vetra ohrozuje rozvodnú sieť v Texase“ takýto záver podporujú. Zástancovia veternej energie tento problém zľahčujú: „Žiadne obavy, jednotlivé turbíny síce sú nestabilné, ale všetky veterné elektrárne *spolu*, na rôznych miestach, sú oveľa menej nestabilné.“

Pozrime sa na skutočné údaje a snažme sa nájsť vyvážený pohľad na vec. Obrázok 26.2 znázorňuje celkový výkon veterných parkov v Írsku od apríla 2006 do apríla 2007. Je zrejme, že vietor je nestabilný aj v prípade, ak postavíme veľa turbín po celej krajine. Veľká Británia je o niečo väčšia ako Írsko, ale ten istý problém platí aj pre ňu. Medzi októbrom 2006 a februárom 2007 sa vyskytlo 17 dní, keď bol výkon 1 632 veterných turbín menej ako 10 % ich inštalovaného výkonu. V tomto období bolo päť dní, keď bol výkon menší ako 5 % a jeden deň to boli iba 2 %.



Obrázok 26.3 Spotreba elektriny vo Veľkej Británii počas dvoch týždňov v zime roku 2006. Ľavé a pravé osi ukazujú spotrebu v jednotkách na úrovni krajiny (GW) a na úrovni osoby (kWh/d na osobu). Ide o rovnaké údaje ako na obrázku 26.1.

Podme vyčíslíť výkyvy veterného výkonu na úrovni krajiny. Zásadné sú dva problémy: krátkodobé zmeny a dlhodobé obdobia pokoja. Nájďme najrýchlejšiu krátkodobú zmenu v Írsku. 11. februára 2007 klesal výkon postupne zo 415 MW o polnoci na 79 MW o 4 hodine ráno. To je rýchlosť poklesu 84 MW za hodinu v krajine s množstvom turbín s inštalovaným výkonom 745 MW. (Rýchlosťou poklesu mám na mysli rýchlosť, akou úhrnný výkon klesá alebo rastie – sklon na grafe 11. februára.) Dobré, ak sa nám podarí pridať vo Veľkej Británii „33 GW“ inštalovaného výkonu (v priemere bude dodávať 10 GW), možno očakávať, že sa občas vyskytne rýchlosť poklesu vo výkone

$$84 \text{ MW/h} \cdot \frac{33\,000 \text{ MW}}{745 \text{ MW}} = 3\,700 \text{ MW/h},$$

ak predpokladáme, že Veľká Británia je veľká ako Írsko. Musíme byť schopní buď zvýšiť náhradu výkonu za vietor na 3,7 GW za hodinu – to sú 4 jadrové reaktory zo stavu úplného vypnutia na plný výkon každú hodinu – alebo musíme byť schopní náhle *znižiť* našu *spotrebu* rýchlosťou 3,7 GW za hodinu.

Je možné tieto požiadavky vetra naplniť? Aby sme dokázali odpovedať, budeme musieť hovoriť viac „o gigawattoch“. Gigawatty sú pre krajinu primerane veľké jednotky výkonu. Pre krajinu znamenajú to isté, čo pre obyvateľa kilowatthodina za deň: naša obľúbená jednotka. Priemerný odoberaný výkon vo Veľkej Británii je približne 40 GW. Toto číslo môžeme vzťahovať k osobnej spotrebe: 1 kWh za deň na osobu znamená pre krajinu 2,5 GW. Ak každý človek spotrebuje 16 kWh elektriny denne, potom je národná spotreba 40 GW.

Je rýchlosť zmeny odberu výkonu **4 GW za hodinu** reálna? Áno. Každé ráno, ako ukazuje obrázok 26.3, narastá spotreba vo Veľkej Británii o 13 GW medzi 6.30 a 8.30 h. To predstavuje rýchlosť zmeny **6,5 GW v priebehu hodiny**. Naši elektroinžinieri sa tak už dnes musia každý deň vyrovnávať so zmenami rýchlosti dopytu v rozvodnej elektrickej sieti väčšími ako 4 GW za hodinu.

Dodatočná zmena 4 GW za hodinu pre zmeny vetra nie je dôvodom na zamietnutie myšlienky veľkoplošných veterných parkov. Je to rovnaký problém, aký sa inžinierom už podaril vyriešiť. Jednoducho potrebujeme zladiť ustavične sa meniacu rovnováhu ponuky a spotreby v elektrickej sieti bez fosílnych palív. Nehovorím, že problém vetra je už vyriešený – je to len problém s rovnakou náročnosťou, aké sme už vyriešili.

Dobre, skôr, ako začneme hľadať riešenia, potrebujeme kvantifikovať iný problém vetra: dlhodobé bezvetrie. Na začiatku februára 2007 zažilo Írsko bezvetrie v celej krajine trvajúce 5 dní. Nešlo o neobvyklú udalosť, ako je možné vidieť na obrázku 26.2. Bezvetrie trvajúce 2-3 dni sa vyskytuje niekoľkokrát za rok.

Existujú dva spôsoby, ako sa s bezvetrím vyrovnáť. Môžeme energiu pred bezvetrím niekde uskladniť, alebo potrebujeme nájsť spôsob, ako znížiť spotrebu (prípadne kombináciu týchto spôsobov.) Ak by sme mali 33 GW z veterných turbín dodávajúcich v priemere výkon 10 GW, potom množstvo energie, ktoré musíme pred päťdenným obdobím bezvetria uskladniť alebo vyrobiť, je

$$10 \text{ GW} \cdot (5 \cdot 24 \text{ h}) = 1\,200 \text{ GWh}.$$

(Gigawatthodina - GWh - je jednotka, ktorú si krajiny zamilujú. Spotreba elektriny vo Veľkej Británii je zhruba 1 000 GWh denne.)

Uskladniť 1 200 GWh je pre krajinu to isté, ako uskladniť 20 kWh na osobu. To by umožňovalo krajine existovať bez 10 GW elektriny po dobu 5 dní.

### **Ako sa vyrovnáť s bezvetrím a zmenami výkonu**

Potrebujeme vyriešiť dva problémy – bezvetrie (dlhé obdobia s malým výkonom obnoviteľných zdrojov energie) a zmeny výkonu elektrickej siete (krátkodobé zmeny v spotrebe alebo vo výrobe). Tieto problémy sme kvantifikovali pri predpoklade, že Veľká Británia bude mať inštalovaný výkon 33 GW z vetra. Aby sme sa vyrovnali s bezvetrím, musíme efektívne uskladniť zhruba 1 200 GWh energie (20 kWh na osobu). Rýchlosť zmeny, s ktorou sa musíme vyrovnáť, je **6,5 GW** za hodinu (alebo 0,1 kW za hodinu na osobu).

Existujú dve riešenia a obe je možné uplatniť na úrovni krajiny. Prvé je centralizované, druhé decentralizované. Pri prvom uskladňujeme energiu, a potom sa vyrovnávame s výkyvmi zapínaním a vypínaním *zdroja* poháňaného uskladnenou energiou. Druhé riešenie funguje na princípe vypínania a zapínania *spotreby*.

Prvým riešením sú *prečerpávacie elektrárne*. To druhé využíva akumulátory *elektrických vozidiel*, ktoré sme prebrali v kapitole 20. Skôr, ako opíšem tieto riešenia, pozrime sa na zopár iných nápadov, ako sa popasovať s náhlymi zmenami výkonu.

*Iné spôsoby na strane ponuky, ako sa vyrovnáť so zmenami výkonu*

Niektoré z obnoviteľných zdrojov sú vypnutelné a zapnutelné. Ak by sme mali veľa výkonu z obnoviteľných zdrojov, ktorý by bolo možné ľahko vypnúť alebo zapnúť, všetky problémy v tejto kapitole by zmizli. Krajiny ako Nórsko alebo Švédsko majú množstvo vodných elektrární, ktoré je možné vypnúť a zapnúť. Aké možnosti má Veľká Británia?

Po prvé, Veľká Británia má množstvo spaľovní na biomasu a odpad – tie môžu zohrávať úlohu, ktorú dnes zohrávajú elektrárne na fosílné palivá. Ak by tieto stanice boli konštruované pre rýchle vypínanie a zapínanie, znamenalo by to dodatočné náklady, rovnako ako v prípade nákladov fosílnych elektrární, ktoré pracujú, len keď je to potrebné. Ich generátory by boli niekedy odstavené a niekedy by pracovali dvojnásobne intenzívne. Väčšina generátorov nemá takú účinnosť, keď sa vypínajú a zapínajú, ako keď fungujú pri stálom výkone. Ak necháme bokom náklady, kľúčovou otázkou je, koľko vypínateľných a zapínateľných zdrojov môžeme mať. Ak by sme spálili všetok komunálny odpad spolu s rovnakým množstvom poľnohospodárskeho odpadu, priemerná energia z týchto zdrojov by predstavovala 3 GW. Ak by sme postavili kapacitu rovnú dvojnásobku tohto výkonu, spaľovne by fungovali polovicu času pri plnom výkone 6 GW v čase vysokého dopytu. V čase nízkeho dopytu by boli vypnuté. Tieto elektrárne by boli konštruované tak, aby ich bolo možné vypnúť a zapnúť za hodinu, a zvládli by tak zmenu výkonu 6 GW za hodinu – to je však maximum! Je to významný príspevok, ale nepostačuje, ak sa máme vyrovnáť s výkyvmi vetra s výkonom 33 GW.

Čo elektrina z vodných elektrární? Britské vodné elektrárne majú priemerný faktor zaťaženia 20 %, takže určite majú potenciál pre vypínanie a zapínanie. Ďalšou výbornou výhodou vodných elektrární je ich možnosť veľmi rýchleho vypínania a zapínania. Napríklad Glendoe, nová vodná elektráreň s inštalovaným výkonom 100 MW, sa bude schopná rozbehnúť za 30 sekúnd. To je rýchlosť zmeny výkonu 12 GW za hodinu iba pre jednu elektráreň! Dostatočne veľký počet vodných elektrární by teda mohol zvládnuť obrovské výkyvy veterných turbín. Hoci ich inštalovaný výkon vo Veľkej Británii dnes nedostačuje na riešenie tohto problému (ak predpokladáme, že sa chceme vyrovnáť s výkyvmi vetra s výkonom 10 alebo 33 GW). Celková kapacita existujúcich vodných elektrární vo Veľkej Británii je približne iba 1,5 GW.

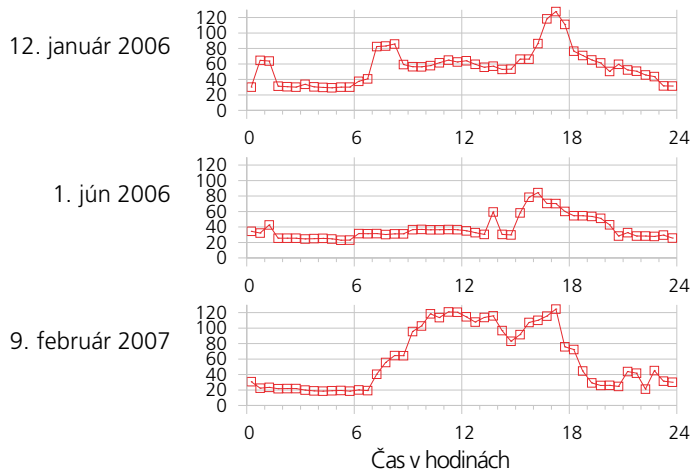
Jednoduché vypínanie a zapínanie iných obnoviteľných zdrojov vo Veľkej Británii fungovať asi nebude. Potrebujeme iné riešenia.

**Uskladnenie elektriny pomocou prečerpávania vody**

Prečerpávacie vodné elektrárne (PVE) využívajú lacnú elektrinu na prenos vody z nižšie položenej nádrže, do vyššie položenej nádrže; a potom elektrinu znovu vyrábajú, keď je potrebná, za použitia takých turbín, aké sú v ostatných vodných elektrárňach.

Stanica	Výkon (GW)	Šírka (m)	Objem (milión m <sup>3</sup> )	Uskladnená energia (GWh)
Ffestiniog	0,36	320 - 295	1,7	1,3
Cruachan	0,40	365 - 334	11,3	10
Foyers	0,30	178 - 172	13,6	6,3
Dinorwig	1,80	542 - 494	6,7	9,1

Tabuľka 26.4 Zariadenia na uskladňovanie energie prečerpávaním vo Veľkej Británii. Maximálne množstvo uskladniteľnej energie v dnešných zariadeniach je približne 30 GWh.



Obrázok 26.5 Ako sa vyplatí uskladňovať energiu. Ceny elektriny v librách na MWh, v priebehu troch dní v roku 2006 a 2007.

Veľká Británia má štyri PVE, ktoré dokážu uskladniť 30 GWh (tab. 26.4, obr. 26.6). Bežne sa používajú na uskladnenie nadbytočnej elektriny v noci a cez deň ju vracajú späť, najmä v čase najvyššieho dopytu. Je to výnosný obchod, ako ukazuje obrázok 26.5. Električiar v Dinorwigu – udivujúca katedrála v horách v Snowdonii – má tiež bezpečnostnú funkciu. Disponuje dostatkom sily na rozbehnutie národnej siete v prípade veľkého výpadku. Dokáže naštartovať z nuly na výkon 1,3 GW za 12 sekúnd.

Dinorwig je kráľovnou medzi štyrmi PVE. Pozrime sa bližšie na jej parametre. Celková energia, ktorú tu možno uskladniť, je približne 9 GWh. Jej horná nádrž leží približne 500 m nad dolným jazerom a objem vody 7 miliónov m<sup>3</sup>, ktorý tečie rýchlosťou 390 m<sup>3</sup>/s, umožňuje dodať 1,7 GW počas 5 hodín. Účinnosť tohto uskladňovacieho systému je 75 %.

Ak by sme zapli všetky štyri PVE naraz, dokázali by vyrábať 2,8 GW výkonu. Možno ich zapnúť veľmi rýchlo, čím sa vyrovnajú s akýmkoľvek výkyvom vo výkone veterných turbín. Napriek tomu kapacita 2,8 GW nestačí nahradiť 10 alebo 33 GW veterného výkonu, ak by zrazu prestalo fúkať. Ani množstvo uskladnenej energie (30 GWh) nestačí pokryť požadovaných 1 200 GWh pri dlhšom období bezvetria. Je možné kapacitu uskladňovania ešte zvýšiť? Dokážeme si predstaviť vyriešenie problému bezvetria len za pomoci prečerpávacích elektrární?



Obrázok 26.6 Llyn Stwlan, horná nádrž uskladňovacieho zariadenia Ffestiniog v severnom Walese. Uskladnená energia: 1,3 GWh. Fotografia: Adrian Pingstone.

## Dokážeme uskladniť 1 200 GWh?

Zaujímá nás výroba oveľa väčších zariadení na uskladňovanie energie, ktoré by dokázali uskladniť celkovo až 1 200 GWh (približne 13-násobne viac ako Dinorwig). Táto kapacita by mala byť približne 20 GW – asi desaťnásobne väčšia, ako má Dinorwig. Tu sa ponúka riešenie za použitia prečerpávacích elektrární: musíme si predstaviť vybudovanie 12 nových zariadení, každé z nich by uskladnilo 100 GWh – asi desaťnásobok energie uskladnenej v Dinorwigu. Zariadenia na prečerpávanie a výrobu elektriny v každej lokalite by boli také isté ako Dinorwig.

Pri predpoklade účinnosti generátorov 90 % ukazuje tabuľka 26.7 niekoľko spôsobov, ako uskladniť 100 GWh, pre rôzne rozsahy poklesov. (Pre pochopenie fyziky nachádzajúcej sa „za“ týmito výpočtami, pozri poznámky na konci kapitoly.)

Tabuľka 26.7 Uskladňovanie energie pomocou prečerpávacej elektrárne a spôsoby, ako uskladniť 100 GWh. Na porovnanie s 2. stĺpcom, pracovný objem Dinorwigu je 7 miliónov m<sup>3</sup> a objem jazera Windermere je 300 miliónov m<sup>3</sup>. Na porovnanie s 3. stĺpcom, Rutland má rozlohu 12,6 km<sup>2</sup>; Grafham 7,4 km<sup>2</sup>. Nádrž Carron valley má 3,9 km<sup>2</sup>. Najväčšie jazero vo Veľkej Británii je Loch Lomond s rozlohou 71 km<sup>2</sup>.

Spôsoby uskladnenia 100 GWh		
Pokles od hornej nádrže	Potrebný objem (milión m <sup>3</sup> )	Priklad veľkosti nádrže rozloha × hĺbka
500 m	80	2 km <sup>2</sup> × 40 m
500 m	80	4 km <sup>2</sup> × 20 m
200 m	200	5 km <sup>2</sup> × 40 m
200 m	200	10 km <sup>2</sup> × 20 m
100 m	400	10 km <sup>2</sup> × 40 m
100 m	400	20 km <sup>2</sup> × 20 m

Je možné nájsť dvanásť vhodných lokalít? Určite by sme mohli len v Snowdonii postaviť niekoľko podobných zariadení, ako je Dinorwig. Obrázok 26.8 ukazuje niekoľko alternatívnych lokalít blízko Ffestionigu, kde by bolo možné postaviť dve rovnaké zariadenia ako Dinorwig. O týchto lokalitách sa uvažovalo spolu s Dinorwigom v 70. rokoch. Zvíťazil Dinorwig.

Tabuľka 26.8 Alternatívne lokality na uskladňovanie energie v Snowdonii. Na oboch lokalitách by nižšie jazero predstavovalo novú umelú nádrž.

Navrhovaná lokalita	Výkon (GW)	Šírka (m)	Objem (milión m <sup>3</sup> )	Uskladnená energia (GWh)
Bowydd	2,40	250	17,7	12,0
Croesor	1,35	310	8,0	6,7

Zariadenia na PVE s významne vyššou kapacitou, ako má Dinorwig, by bolo možné postaviť v Škótsku zlepšením existujúcich vodných elektrární. Po preskúmaní mapy Škótska by jednou kandidátskou lokalitou mohlo byť jazero Loch Sloy ako horná nádrž a jazero Loch Lomond ako dolná nádrž. Existujúca malá vodná elektráreň už tieto jazerá spája. Obrázok 26.9 ukazuje tieto jazerá a jazerá v Dinorwigu na tej istej mierke.





Obrázok 26.9 Dinorwig, v Národnom parku Snowdonia, pri porovnaní s jazerami Loch Sloy a Loch Lomond. Horné mapy ukazujú oblasť 10 km × 10 km. Na dolných mapách vytvára modrá mriežka 1 km štvorce. Obrázky vyrobil Ordnance Survey's Get-a-map Service [www.ordnancesurvey.co.uk/getamap](http://www.ordnancesurvey.co.uk/getamap). Obrázky zverejnené s povolením Ordnance Survey. © Crown Copyright 2006.



**Dinorwig** je domovom PVE pre 9 GWh, kde horné jazero Marchlyn Mawr (615 VD, 620 SŠ) a dolné jazero Lynn Peris (590 VD, 598 SŠ) slúžia ako nádrže.

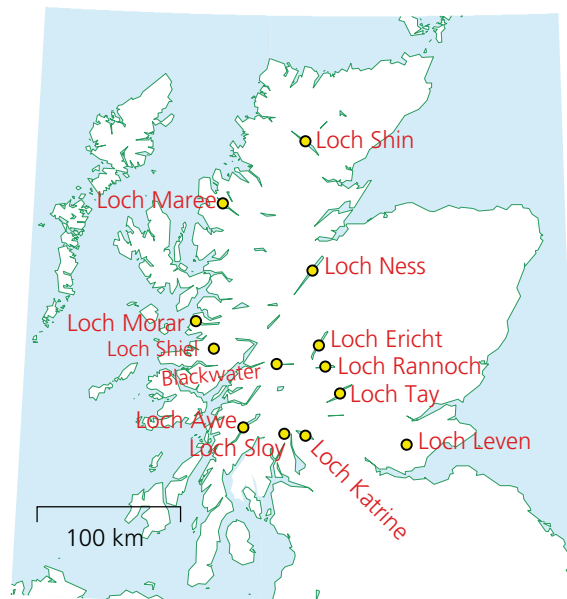
**Loch Sloy** znázorňuje typ lokality, kde by bolo možné vybudovať 40 GWh PVE.



Výškový rozdiel medzi jazerom Loch Sloy a jazerom Loch Lomond je približne 270 m. Rozloha jazera Loch Sloy je približne 1,5 km<sup>2</sup> a už teraz dokáže uskladniť 20 GWh energie. Ak by sa priehrada Loch Sloy navýšila o ďalších 40 m, potom by sa množstvo uloženej energie zvýšilo na 40 GWh. Hladina vody jazera Loch Lomond by sa v priebehu cyklu zvýšila najviac o 0,8 m. To je menej ako je normálny rozsah zmien hladiny vody tohto jazera v priebehu roka (2 m).

Obrázok 26.10 ukazuje 13 lokalít v Škótsku s potenciálom pre uskladnenie energie prečerpávaním. (Väčšina z nich už má vodnú elektrárňu.) Ak by desať z nich malo rovnaký potenciál, ako som vypočítal v prípade jazera Loch Sloy, potom by sme mohli uložiť 400 GWh – jednu tretinu z požadovaného množstva 1 200 GWh, ku ktorému smerujeme.

Obrázok 26.10 Jazerá v Škótsku s potenciálom na uskladňovanie energie.



Obrázok 26.11 Zariadenie PVE, ktorého nižšiu nádrž tvorí oceán. Uložená energia: 0,2 GWh. Fotografia: J-Power. [www.ieahydro.org](http://www.ieahydro.org).

Mohli by sme pre ďalšie lokality preskúmať mapu Veľkej Británie. Najlepšie lokality by boli blízko veľkých veterných parkov. Jeden nápad by bol vybudovať nové umelé jazero vo visutom údolí (naprieč ústím, z ktorého by bola vybudovaná priehrada) s okrajom nad hladinou mora. More by slúžilo ako nižšia nádrž.

Ak budeme v netradičných úvahách pokračovať, môžeme si predstaviť inú cestu ako jazerá a nádrže: napríklad umiestniť polovicu zariadenia do podzemia. Už bol predložený aj návrh komory na uskladňovanie jeden kilometer pod Londýnom.

Postavením viacerých uskladňovacích zariadení by sme mohli zvýšiť maximálne množstvo uloženej energie z 30 GWh na 100 GWh alebo možno 400 GWh. Dosiagnúť želanú hodnotu 1 200 sa však zdá byť veľmi ťažké. Našťastie, existuje iné riešenie.

### Riadenie spotreby za pomoci elektrických áut

Zrekapitulujme naše požiadavky. Radi by sme uložili 1 200 GWh alebo vydržali bez nich, čo predstavuje 20 kWh na osobu. Potrebujeme sa vyrovnáť s výkyvmi v ponuke až do 33 GW – to predstavuje 0,5 kW na osobu. Tieto čísla sú ideálne podobné svojou veľkosťou požiadavkám energie a výkonu elektrických automobilov. Elektrické autá, ktoré sme videli v kapitole 20, uskladňovali medzi 9 kWh a 53 kWh. Vozový park 30 miliónov elektrických áut by uskladnil množstvo približne 20 kWh na osobu! Typické nabíjačky akumulátorov majú príkon 2 alebo 3 kW. Ak naraz zapneme 30 miliónov nabíjačiek, znamenalo by to nárast dopytu približne 60 GW! Priemerný výkon

potrebný pre pohon celej dopravy, ak by fungovala na elektrinu, je zhruba 40 - 50 GW. Existuje preto úzke zosúladenie medzi zavedením elektrických automobilov navrhovaných v kapitole 20 a vytvorením približne 33 GW inštalovaného výkonu veterných turbín, ktoré by v priemere dodávali 10 GW.

Tu je jeden spôsob, ako možno toto zosúladenie využiť. Elektrické autá by sa dali nabíjať inteligentnými nabíjačkami doma alebo v práci. Nabíjačky by reagovali na cenu elektriny aj na požiadavky používateľa auta (napríklad „moje auto musí byť plne nabité v pondelok ráno do 7. h“). Nabíjačka by uspokojila potreby používateľa využívaním elektriny vždy, keď fúka vietor, a pri bezvetrí alebo pri zvýšenom dopyte z iných oblastí by sa vypínala. Inteligentné nabíjačky by znamenali užitočnú službu pri vyvažovaní ponuky a dopytu v sieti, službu, ktorú by bolo možné finančne ohodnotiť.

Mohli by sme mať obzvlášť vhodné riešenie, ak by akumulátory áut boli vymeniteľné. Predstavte si, že prídete do „čerpaciej“ stanice a vymeníte vybité akumulátory za nabité. Bolo by možné to uskutočňovať v presnom čase. Nabíjačky by sa zapínali a vypínali tak, aby celkový dopyt a ponuka zostávali v rovnováhe. Používanie vymeniteľných akumulátorov je obzvlášť vhodné riešenie, pretože milióny voľných akumulátorov by mohli byť na skladoch čerpacích staníc. Slúžili by ako dodatočný tlmič, ktorý by nám pomohol vyrovnáť sa s bezvetrím. Niektorí ľudia hovoria, „Horor! Ako môžem dôverovať čerpacím staniciam, že sa postarajú o moju baterku? Čo ak mi ju vymenia za nekvalitnú?“ Ale rovnako tak by ste sa mohli opýtať dnes: „Čo ak mi na čerpacej stanici dajú benzín zmiešaný s vodou?“ Osobne by som radšej používal vozidlo udržiavané odborníkom ako nemehlom, ako som ja!

Zrekapitulujme naše možnosti. Môžeme vyrovnáť výkyvy medzi dopytom a nevyrovnanou ponukou zapínaním a vypínaním *generátorov* (napríklad spaľovne odpadov a vodné elektrárne); *uskladňovaním* energie a jej výrobou, keď je potreba; alebo zapínaním a vypínaním *dopytu*.

Najsľubnejšou z týchto možností, čo sa týka rozsahu, sa zdá byť zapínanie a vypínanie spotreby nabíjaním elektromobilov. 30 miliónov áut, každé s 40 kWh akumulátorom (z ktorých niektoré by čakali na vymenenie v čerpacích staniciach) znamená 1 200 GWh. Ak by bola elektrifikovaná aj nákladná doprava, uskladňovacia kapacita by bola ešte vyššia.

Existuje tak výborná zhoda medzi výkonom z vetra a elektrickými vozidlami. Ak zapojíme elektrické vozidlá v rovnakom čase, ako sa zapína vietor, zhruba 3 000 nových vozidiel na každú 3 MW veternú turbínu, a ak zabezpečíme, že nabíjacie systémy pre autá budú inteligentné, táto synergia by nadiho vyriešila problém výkyvov vetra. Ak sú moje predpovede o vodíkových automobiloch nesprávne, a ukážu sa nakoniec ako nízko-energetické automobily budúcnosti, potom vietor v spojení s elektrickými automobilmi, ktoré som práve opísal, by mohlo nahradiť spojenie vetra a vodíkových automobilov. Veterné turbíny by vyrábali elektrinu; a kedykoľvek by bol dostatok elektriny, vodík by sa vyrábala a uskladňoval v nádržiach pre neskoršie použitie v automobiloch alebo iných aplikáciách, napríklad pri výrobe skla.

## Iné spôsoby riadenia spotreby a uskladňovania energie

Existuje ešte niekoľko ďalších možností riadenia spotreby a uskladňovania energie, na ktoré sa bližšie pozrieme.

Myšlienka upravovať rýchlosť výroby vecí a materiálov tak, aby sa zhodovala s výrobou elektriny z obnoviteľných zdrojov, nie je nová. Mnoho tovární na výrobu hliníka sa nachádza pri vodných elektrárnach; čím viac prší, tým viac hliníka sa vyrába. Kdekoľvek sa elektrina použije na výroby, ktoré sa dajú uskladňovať, existuje potenciál pre vypínanie a zapínanie tejto výroby inteligentným spôsobom. Napríklad systémy reverznej osmózy (ktoré vyrábajú z morskej vody sladkú – pozri stranu 92) sú hlavnými spotrebiteľmi elektriny v mnohých krajinách (hoci vo Veľkej Británii nie). Iný uskladniteľný produkt je teplo\*. Ak by sme elektrifikovali ohrev a chladenie budov, ako o tom uvažujeme v kapitole 21, obzvlášť ohrev vody a vzduchu, potom existuje potenciál zapojiť do siete významné množstvo ľahko vypniteľného a zapniteľného dopytu po výkone. Dobre izolované budovy udržia teplo veľa hodín, takže existuje vysoká voľnosť v načasovaní ich vykurovania. Navyše by sme mohli zahrnúť veľké zásobníky tepla do budov a používať tepelné čerpadlá na čerpanie tepla z a do týchto zásobníkov v čase nadbytku elektriny; a potom používať druhú súpravu čerpadiel na prenos tepla alebo chladu zo zásobníkov na miesta, kde je potrebný ohrev alebo chladenie.

Automatická kontrola spotreby elektriny by bola jednoduchá. Stačilo by, aby spotrebiče ako chladničky a mrazničky reagovali na frekvenciu siete. Pri nedostatku činného výkonu v sieti frekvencia siete klesá pod štandardnú hodnotu 50 Hz. Keď je elektriny nadbytok, frekvencia sa zvyšuje nad 50 Hz. (Je to podobné ako dynamo na bicykli. Keď zapnete svetlo, musíte šliapať viac, aby ste dosiahli vyšší výkon, ak nechcete, aby bicykel spomalil.) Chladničky možno upraviť tak, aby ich termostat reagoval na výkyvy frekvencie siete spôsobom, ktorý jej pomáha, a to dokonca bez toho, aby ohrozili teplotu vášho masla.

Dokáže riadenie dopytu poskytnúť významný príspevok virtuálneho uskladňovania energie? Aký veľký príkon, ktorý sa dá vypnúť, majú chladničky vo Veľkej Británii? Typická chladnička a mraznička spotrebúva v priemere 18 W. Predpokladajme, že chladničiek je 30 miliónov. Možnosť vypnúť všetky chladničky v krajine na pár minút by predstavovalo 0,54 GW automaticky nastaviteľného výkonu. Je to pomerne veľa elektrického výkonu – viac ako 1 % z celkového množstva – a je to podobné ako náhly nárast v spotrebe, ktorý vzniká, ak sa ľudia hromadne zjednotia pri tradičných rituáloch (ako je napríklad sledovanie seriálu EastEnders) a zapnú svoje kanvice. Takýto „televízny nápor“ znamená v priemere nárast spotreby o 0,6 - 0,8 GW. Automatické vypnutie každej chladničky by takmer pokrylo tieto denné skoky synchronizovaného varenia vody v kanvičiach. Takéto inteligentné chladničky by takisto mohli pomôcť vyrovnáť sa s krátkodobými výkyvmi vo výkone vetra. Televízne nápor, spojené so sledovaním posvätných programov (napríklad futbalové zápasy národného tímu Anglicka) môžu

[\*Respektíve entalpia, ktorú možno zvyšovať dodávaním tepla, podobne ako potenciálnu energiu zvyšujeme konaním práce – pozn. prekl.]

spôsobíť náhly nárast spotreby o viac ako 2 GW. Pri takých udalostiach sa spotreba a ponuka udrží v rovnováhe za pomoci výkonu Dinorwigu.

Aby mohli dispečeri dostatočne flexibilne zapínať a vypínať elektrárne pri zosúladovaní ponuky s dopytom, mnoho priemyselných odberateľov elektriny má špeciálne zmluvy, ktoré dispečerom umožňujú veľmi rýchlo zastaviť odber elektriny. V Južnej Afrike, kde sú výpadky elektriny časté, inštalujú systémy riadenia spotreby v stovkách tisícov domov, aby bolo možné ovládať odber elektriny klimatizáciami a elektrickými ohrievačmi vody.

### Dánsky recept

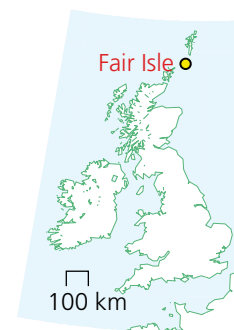
Ako sa vyrovnáva s nestálosťou veternej elektriny Dánsko? Dáni platia za používanie vodných elektrární v iných krajinách na uskladňovanie energie. Takmer všetok výkon vetra exportuje Dánsko do susedných európskych krajín, z ktorých niektoré majú výkon z vodných elektrární, ktoré môžu v prípade potreby vypnúť. Tento ušetrný výkon z vodných elektrární potom Dánom predávajú (za vyššiu cenu) v čase slabého vetra a vysokého dopytu. Celkovo dánsky vietor prispieva užitočnou elektrinou a systém ako celok je veľmi bezpečný vďaka kapacite vodných elektrární.

Mohla by si Veľká Británia vziať vzor z Dánska? Potrebovali by sme priame veľkokapacitné spojenie s krajinami s významnou kapacitou zapnuteľnej a vypnuteľnej vodnej elektriny alebo veľké spojenie s európskou elektrickou sieťou.

Nórsko má 27,5 GW inštalovaného výkonu z vody. Švédsko má zhruba 16 GW. Island má 1,8 GW. V roku 2003 sa navrhovalo 1,2 GW vysokonapäťové spojenie jednosmerného prúdu do Nórska, ale nevybudovalo sa. Spojenie do Holandska – konektor BritNed, s kapacitou 1 GW, je naplánované na rok 2010 [začalo fungovať v apríli 2011 – pozn. prek]. Inštalovaný výkon získavaný z vetra v Dánsku je 3,1 GW a má 1 GW spojenie s Nórskom, 0,6 GW so Švédskom, a 1,2 GW s Nemeckom, takže celková exportná kapacita je 2,8 GW, podobná výkonu vetra. Aby mohla Veľká Británia exportovať všetok svoj výkon z vetra (predpokladaných inštalovaných „33 GW“), podobne ako Dánsko, potrebovala by 10 GW spojenie s Nórskom, 8 GW so Švédskom a 1 GW s Islandom.

### Riešenie dvoch sietí

Radikálnym prístupom je nasmerovanie výkonu z vetra a iných nestabilných zdrojov do samostatnej *druhej* elektrickej siete, ktorá by sa používala na pohon zariadení, ktoré nevyžadujú stabilný príkon, ako je vykurovanie či nabíjanie akumulátorov elektromobilov. Viac ako 25 rokov (od roku 1982) mal škótsky Fair Isle (70 obyvateľov, rozloha 5,6 km<sup>2</sup>) dve elektrické siete, ktoré distribuovali výkon z dvoch veterných turbín, a ak to bolo potrebné, z elektrického generátora na naftový pohon. Prvá sieť zaisťuje štandardný servis. Druhá je iba na elektrické ohrievanie. To zabezpečuje nadbytočná



Výroba	Spotreba
Vietor: <b>4,1</b>	Ohrev: <b>2,5</b>
Nafta: <b>1,8</b>	Ostatné: <b>2,9</b>

Obrázok 26.12 Výroba a spotreba elektriny na Faerských ostrovoch, 1995-96. Všetky čísla sú v kWh/d na osobu. Výroba prevyšuje spotrebu pretože 0,6 kWh/d na osobu zostalo nevyužitých.

elektrina z veterných turbín, ktorá by inak zostala nevyužitá. Na frekvenciu citlivý, programovateľný spínač s diaľkovým ovládaním reguluje jednotlivé ohrievače vody a akumulčné kachle v jednotlivých budovách komunity. Frekvencia v sieti sa používa na informovanie ohrievačov, kedy sa môžu zapnúť. V skutočnosti pripadá na jednu domácnosť až šesť frekvenčných kanálov, takže systém napodobňuje sedem sietí. Fair Isle takisto úspešne odskúšali uskladňovacie zariadenie kinetickej energie (zotrvačník), ktoré počas výkyvov vetra dokáže uskladniť energiu v časovom rozmedzí 20 sekúnd.

### *Elektromobily ako generátory*

Ak by bolo možné v čase nedostatku elektriny v krajine použiť 30 miliónov nabitých elektrických automobilov na doplnenie elektriny do siete, pri 2 kW na auto, by sme mali potenciálny zdroj 60 GW – podobný kapacite všetkých elektrární v krajine. Dokonca, ak by sa zapojila čo len tretina vozidiel a prispela 2 kWh energie – čo zodpovedá možno 20 % celkovej kapacity ich akumulátorov – potom by celkové množstvo energie dosiahlo 20 GWh, t.j. dvojnásobok uskladňovacej kapacity elektrárne Dinorwig.

### *Iné technológie uskladňovania*

Existuje mnoho spôsobov, ako uskladniť energiu a mnoho kritérií, na základe ktorých sa tieto riešenia hodnotia. Obrázok 26.13 ukazuje tri z najdôležitejších kritérií: energetickú hustotu (koľko energie sa uloží na jeden kilogram zariadenia); účinnosť (aký podiel uloženej energie sa získa späť); a životnosť (koľko cyklov uskladnenia energie je možné uskutočniť, kým treba celý systém obnoviť). Iné dôležité kritéria sú: maximálna rýchlosť, ktorou je možné energiu čerpať do alebo zo systému uskladnenia, často vyjadrenej ako výkon na kg; čas trvania, počas ktorého zostane energia v systéme uskladnená; a samozrejme náklady a bezpečnosť systému.

### *Zotrvačníky*

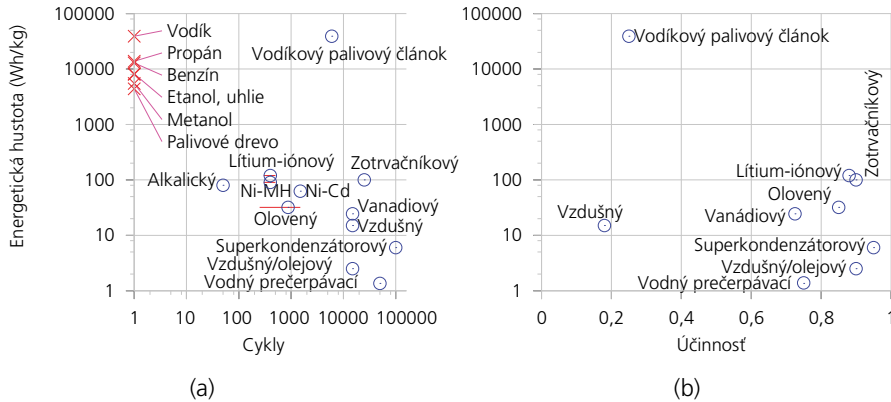
Obrázok 26.15 ukazuje obrí zotrvačník, ktorý sa využíva na dodávanie krátkych náporov výkonu až do 0,4 GW na pohon experimentálneho zariadenia. Má hmotnosť 800 ton. Pri 225 obrátkach za minútu dokáže uskladniť 1 000 kWh a jeho energetická hustota je 1 Wh na kilogram.

Systém zotrvačníkov na uskladňovanie energie v závodnom aute dokáže uložiť 400 kJ (0,1 kWh) energie a má hmotnosť 24 kg (str. 126). To je energetická hustota 4,6 Wh na kg.

Vysokorýchlostné zotrvačníky vyrobené z kompozitných materiálov majú energetickú hustotu až do 100 Wh/kg.



Obrázok 26.15 Jeden z dvoch zotrvačníkov vo výskumnom centre v Culhame, v štádiu konštrukcie. Fotografia: EFDA-JET. [www.jet.edfa.org](http://www.jet.edfa.org).



Obrázok 26.13 Niektoré vlastnosti systémov uskladňovania a palív. (a) Energetická hustota (na logaritmickej mierke) oproti životnosti (počet cyklov). (b) Energetická hustota oproti účinnosti. Energetické účinnosti nezahŕňajú hmotnosti nádrží energetických systémov, okrem „vzduchu“ (uskladňovanie stlačeným vzduchom). Ak zoberieme do úvahy váhu kryogenickej nádrže pre uskladňovanie vodíka, jeho energetická hustota klesá z 39 000 Wh/kg na zhruba 2 400 Wh/kg.

Palivo	Výhrevnosť	
	(kWh/kg)	(MJ/l)
Propán	13,8	25,4
Benzín	13,0	34,7
Naftový olej (DERV)	12,7	37,9
Kerozín	12,8	37
Vykurovací olej	12,8	37,3
Etanol	8,2	23,4
Metanol	5,5	18,0
Bioetanol		21,6
Uhlie	8,0	
Palivové drevo	4,4	
Vodík	39,0	
Zemný plyn	14,85	0,04

(a)

Tabuľka 26.14 (a) Výhrevnosti (energetické hustoty na kg a na liter) niektorých palív (v kWh na kg a MJ na liter). (b) Energetické hustoty niektorých akumulátorov (vo Wh na kg). 1 kWh = 1 000 Wh.

Typ akumulátora	Energetická hustota (Wh/kg)	Životnosť (cykly)
Nikel-kadmiový	45-80	1 500
NiMH	60-120	300-500
Olovený	30-50	200-300
Lítium-iónový	110-160	300-500
Lítium-iónový polymér	100-130	300-500
Recyklovateľná zásada	80	50

(b)

### Superkondenzátory

Superkondenzátory sa používajú na uskladnenie malého množstva elektriny (do 1 kWh) tam, kde je potrebných veľa nabíjajúcich cyklov a nabíjanie musí byť ukončené rýchlo. Superkondenzátory sa uprednostňujú pred akumulátormi napríklad pri rekuperácii energie pri brzdení vozidiel, ktoré sa často rozbiehajú a zastavujú. V obchodoch možno dostať superkondenzátory s energetickou hustotou 6 Wh/kg.

Americká spoločnosť EESstor tvrdí, že dokáže vyrobiť oveľa lepšie superkondenzátory s použitím titaničitanu barnatého a energetickej hustotou 280 Wh/kg.

### Vanádiové redoxné akumulátory

VRB systémy zabezpečujú uskladnenie 12 MWh energie z veterného parku Sorne Hill v Írsku, ktorého súčasný inštalovaný výkon sa zvýšil z „32 MW“ na „39 MW“ (VRB je skratka pre vanádiový redoxný akumulátor). Tento spôsob uskladnenia je veľký „redoxný akumulátor“. Redoxný nabíjateľný palivový článok s niekoľkými nádržami plnými vanádia v rozličných chemických stavoch. Systém dokáže vyrovnávať výkon veterného parku v minútach, ale najdlhší čas, aký dokáže dodávať jednu tretinu inštalovaného výkonu (pri bezvetří), je jedna hodina.

1,5 MWh vanádiový systém s cenou 480 000 dolárov sa rozprestiera na ploche 70 m<sup>2</sup> a má celkovú hmotnosť 107 ton. Vanádiové redoxné akumulátory možno nabiť až 10 000-krát. Rovnakým tempom sa dajú nabíjať aj vybiť (na rozdiel od olovených akumulátorov, ktoré sa musia nabíjať 5-krát pomalšie). Ich účinnosť v cykle nabitia a vybitia je 70 - 75 %. Na uskladnenie 20 kWh je potrebný objem približne 1 m<sup>3</sup> 2-molárneho roztoku vanádia v kyseline sírovej (to je 20 Wh/kg).

Na uskladnenie 10 GWh treba 500 000 m<sup>3</sup> (170 bazénov) – napríklad nádoby 2 m vysoké na ploche 500 m × 500 m.

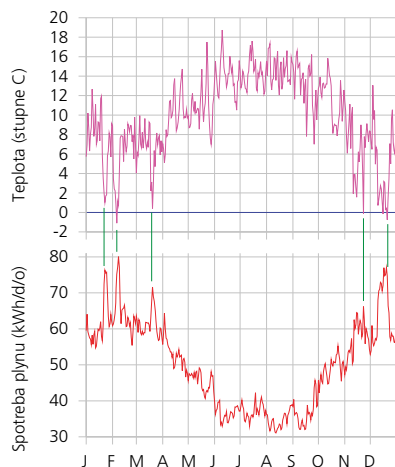
Rozšírenie tejto technológie na dosiahnutie merného výkonu 10 GWh by mohlo mať dosah na svetový trh s vanádiom, ale dlhodobý nedostatok vanádia nehrozí. Súčasná výroba vanádia je 40 000 ton ročne. Na uskladnenie 10 GWh by bolo potreba 36 000 ton vanádia – teda asi momentálna ročná výroba. Vanádium sa v súčasnosti vyrába ako vedľajší produkt pri inej výrobe. Celkové zásoby vanádia sa odhadujú na 63 miliónov ton.

### „Ekonomické“ riešenia

V súčasnom svete, ktorý nespoplatňuje znečisťovanie emisiami CO<sub>2</sub>, umožňuje finančná bariéra, ktorú musí systém uskladňovania energie prekonať, veľmi nečistú alternatívu. Uskladňovanie možno nahradiť jednoducho ďalšou elektrárnou na plynový pohon, ktorá vyrovná dodatočnú spotrebu, a nadbytočnú elektrinu použiť pre ohrievače (vlastne ju zahodiť).

### Sezónne výkyvy

Najdlhšie výkyvy v ponuke a dopyte sú tie sezónne. Najdôležitejšie výkyvy sa týkajú vykurovania domov, ktoré cez zimu narastá. Súčasný dopyt po zem-



Obrázok 26.16 Teplota (horný graf) a spotreba plynu (nižší graf) vo Veľkej Británii v roku 2007.



nom plyne vo Veľkej Británii v priebehu roka kolíše z priemernej hodnoty 36 kWh/d na osobu v júli a auguste na 72 kWh/d na osobu od decembra do februára, s extrémami 30 - 80 kWh/d/o (obr. 26.16).

Niektoré z obnoviteľných zdrojov takisto podliehajú ročným výkyvom. Slnecné žiarenie je v lete intenzívnejšie a fúka, naopak, menej.

Ako sa vyrovnat s týmito dlhodobými výkyvmi? Elektrické automobily a uložená energia v priehradách pri uskladnení takéhoto množstva nepomôžu. Užitočnou technológiou bude nepochybne dlhodobé uskladnenie tepla. Veľká skala alebo veľká nádrž vody dokážu uskladniť teplo, ktoré spotrebuje budova za jednu zimu – kapitola E rozoberá túto myšlienku podrobnejšie. V Holandsku sa v lete teplo z horúcich ciest uskladňuje vo zvodnených vrstvách až do zimy a dodáva sa do budov pomocou tepelných čerpadiel [2wmuw7].

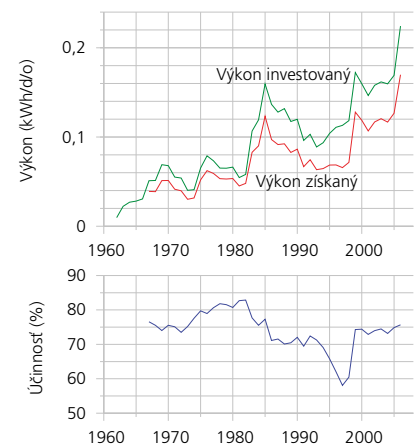
## Poznámky

Strana číslo

187 *Celkový výkon z veterných parkov v Írsku.* Údaje z eirgrid.com [2hxf6c].

- *„Nedostatok vetra spôsobuje stav ohrozenia rozvodnej siete v Texase.“* [2199ht] V skutočnosti som novinový článok o tejto udalosti, hoci neobvyklej, pochopil tak, že išlo o normálne fungovanie siete. Sieť má veľkoodberateľov, pre ktorých sú dodávky prerušiteľné, v prípade narušenia rovnováhy dopytu a ponuky. Výkon vetra klesol o 1,4 GW v čase, keď vzrástol dopyt o 4,4 GW a vzniklo presne také narušenie. Prerušiteľné dodávky boli prerušené. Všetko fungovalo tak, ako malo. Iný príklad, kde by pomohlo lepšie plánovanie energetického systému: „Výkon vetra v Španielsku dosiahol rekord, bolo nariadené odstavenie.“ Priemerná spotreba elektriny v Španielsku je 31 GW. V utorok 4. marca 2008 dodávali generátory 10 GW. „Španielska energetika sa stala obzvlášť citlivá na výkyvy vetra.“
- *„Žiadne obavy, jednotlivé turbíny sú síce nestabilné, ale všetky veterné elektrárne spolu, na rôznych miestach, sú oveľa menej nestabilné.“* Pozri napríklad internetovú stránku [yes.2wind.com](http://yes.2wind.com) a na podstránke „Vyvrátenie mýtu, že veterná energia je nespoľahlivá“, sa dozviete, že „výkyvy vo výkone veterného parku po celej krajine sú ťažko pozorovateľné“. [www.yes2wind.com/intermittency\\_debunk.html](http://www.yes2wind.com/intermittency_debunk.html).
- *...vietor je nestabilný aj v prípade, ak postavíme veľa turbín po celej krajine. Veľká Británia je o niečo väčšia ako Írsko, ale ten istý problém platí aj pre ňu.* Zdroj: Oswald a kol. (2008).

191 *Účinnosť tohto uskladňovania (v Dinorwigu) je 75 %.* Obrázok 26.17 ukazuje údaje. Ďalšie informácie o Dinorwigu a iných miestach pre PVE: Baines a kol. (1983, 1986).



Obrázok 26.17 Účinnosť štyroch uskladňovacích zariadení vo Veľkej Británii.

- 192 *Tabuľka 26.7.* Objem potrebný na uskladňovanie ( $V$ ) sa počíta z poklesu výšky ( $h$ ) takto. Ak  $\varepsilon$  je účinnosť premeny potenciálnej energie na elektrinu, tak
- $$V = 100 \text{ GWh}/(\rho g h \varepsilon),$$
- Kde  $\rho$  je merná hmotnosť vody a  $g$  je gravitačné zrýchlenie. Predpokladal som, že účinnosť generátorov je  $\varepsilon = 0,9$ .

- *Tabuľka 26.8, Alternatívne lokality pre prečerpávacie elektrárne.* Navrhovaná horná nádrž pre Bowydd bola Llyn Newydd, súradnice SH 722 470; pre Croesor: Llyn Cwm-y-Foel, SH 653 466.

- 193 *Ak by sa priehrada Loch Sloy navýšila o ďalších 40 m, potom by sa množstvo uloženej energie zdvihlo na 400 GWh.* Tento hrubý odhad potvrdzuje aj štúdia z univerzity Strathclyde [5o2xgu], ktorá zhrňa 14 lokalít s celkovou odhadovanou kapacitou uskladňovania 514 GWh.

- 196 *Chladničky možno upraviť tak, aby ich termostat reagoval na výkyvy frekvencie siete.* [2n3pmb]. Ďalšie odkazy: Dynamický dopyt [www.dynamicdemand.co.uk](http://www.dynamicdemand.co.uk); [www.rltec.com](http://www.rltec.com); [www.responsiveload.com](http://www.responsiveload.com).

- 197 *V Južnej Afrike... sa inštalujú systémy riadenia spotreby.* Zdroj: [2k8h4o].

- *Takmer všetok výkon vetra exportuje Dánsko do susedných európskych krajín.* Zdroj: Dharman (2005).

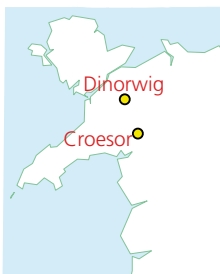
- 198 *Viac ako 25 rokov (od roku 1982) mal škótsky Fair Isle dve elektrické siete.* [www.fairisle.org.uk/FIECo/](http://www.fairisle.org.uk/FIECo/)  
Rýchlosti vetra sú tu väčšinou medzi 3 m/s a 16 m/s; 7 m/s je najpravdepodobnejšia rýchlosť.

- 199 *Obrázok 26.13. Účinnosti uskladňovania.* Litium-iónové akumulátory: účinnosť 88 %. Zdroj: [www.national.com/appinfo/power/files/swcap\\_eet.pdf](http://www.national.com/appinfo/power/files/swcap_eet.pdf)  
Olovené akumulátory: 85-95 %  
Zdroj: [www.windsun.com/Batteries/Battery\\_FAQ.htm](http://www.windsun.com/Batteries/Battery_FAQ.htm)  
Uskladnenie stlačeným vzduchom: účinnosť 18 %. Zdroj: Lemofouet-Gatsi a Rufer (2005); Lemofouet-Gatsi (2006). Pozri aj Denholm et al. (2005).  
Vzduch/olej: hydraulické akumulátory, používané na rekuperáciu v nákladných autách, sú zariadenia so stlačeným vzduchom s celkovou účinnosťou až 90 % a umožňujú zachytenie až 70 % kinetickej energie. Zdroje: Lemofouet-Gatsi (2006), [5cp27j].

- *Tabuľka 26.14.* Zdroje: Xtronics [xtronics.com/reference/energy\\_density.htm](http://xtronics.com/reference/energy_density.htm); Battery University [2sxlyj]; informácie o zotrvačníku sú podľa Ruddell (2003).  
Posledné akumulátory s najvyššou energetickou hustotou sú akumulátory so sulfidom lítnym, s energetickou hustotou 300 Wh/kg.  
Niektorí sklamaní nadšenci vodíkovej technológie sa nevzdávajú a stávajú sa z nich zástancovia bóru. Bór (pri predpoklade, že zhorí na  $B_2O_3$ ) má energetickú hustotu 15 000 Wh na kilogram, čo je dobrá a vysoká hodnota. Obávam sa ale, že moje hlavné obavy súvisiace s vodíkom budú platné aj pre bór, a že výroba paliva (v tomto prípade bór z  $B_2O_3$ ) bude energeticky nevýhodná, tak ako aj proces spaľovania.

- 200 *Vanádiové redoxné akumulátory.* Zdroje: [www.vrbpower](http://www.vrbpower); *írsky veterný park* [ktd7a]; *rýchlosť nabíjania* [627ced]; *celosvetová výroba* [5fas17].

- 201 *...v lete teplo z horúcich ciest uskladňuje vo zvodnených vrstvách...* [2wmuw7].



Obrázok 26.18 Možná lokalita pre ďalšie 7GWh zariadenie PVE. Údolie Croesor sa nachádza vľavo v strede, medzi ostrým štítom (Cnicht) naľavo a širšími štípmi (Moelwyns) napravo.

## 27 Päť energetických plánov pre Veľkú Britániu

Ak sa máme zbaviť súčasnej závislosti od fosílnych palív, potrebujeme plán pre radikálnu zmenu. Ten by mal byť zmysluplný. Bude tiež vyžadovať politický a finančný rozpis postupu. Politika a ekonomika nie sú súčasťou záberu tejto knihy, preto sa budem jednoducho venovať tomu, ako by mohla vyzeráť technická stránka zmysluplného plánu.

Existuje mnoho zmysluplných plánov. V tejto kapitole ich opíšem päť. Prosím, nepovažujte ani jeden z nich za „autorom odporúčané riešenie“. Moje jediné odporúčanie je nasledujúce:

*Zabezpečte, aby vaše rozhodnutia zahŕňali plán, ktorý funguje!*

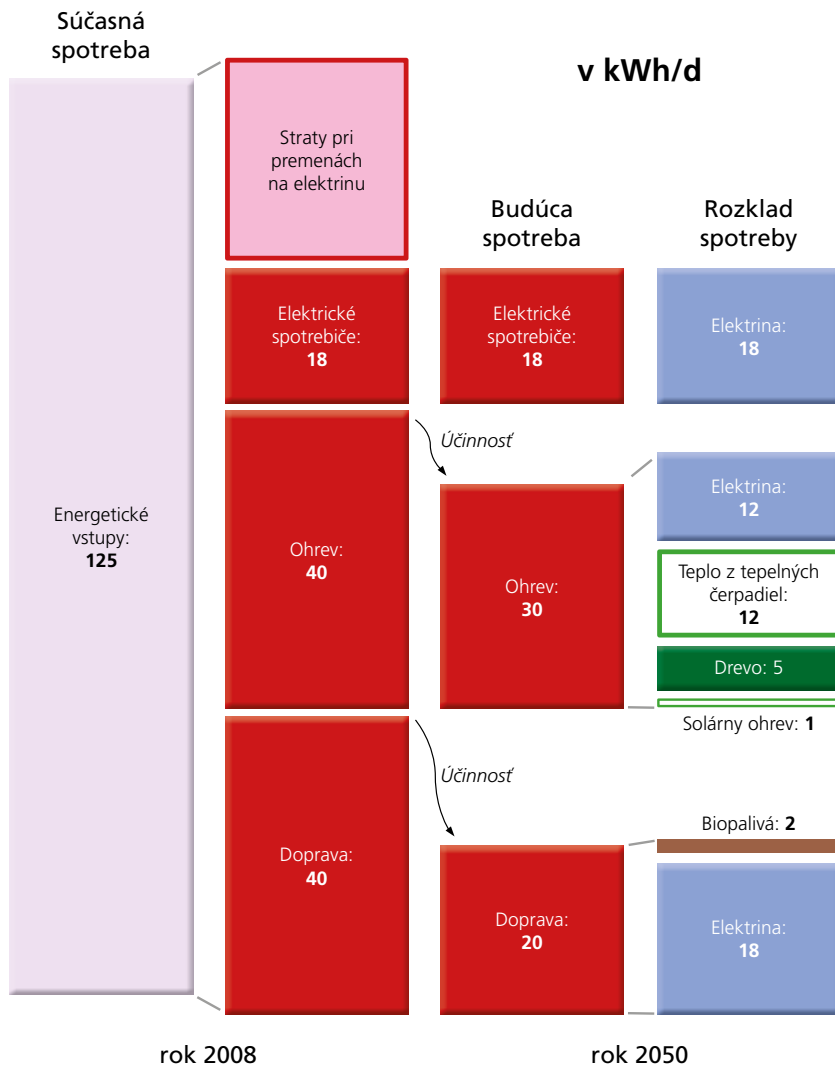
Každý z plánov má stranu spotreby a výroby. Musíme určiť, koľko energie bude naša krajina potrebovať a ako ju získame. Aby plán nezaberal príliš veľa stránok, využijem model našej krajiny, v ktorom využívame energiu iba v troch oblastiach: v doprave, na ohrev a výrobu elektriny. Ide o drastické zjednodušenie, ktoré vynecháva priemysel, poľnohospodárstvo, dovoz atď. Dúfam však, že ide o užitočné zjednodušenie, ktoré nám umožní porovnať a dať do kontrastu jednotlivé plány v priebehu minúty. Nakoniec budeme potrebovať detailnejšie plány, ale dnes sme tak ďaleko od cieľa, že jednoduchý model je najlepší spôsob, ako znázorniť problém.

Navrhmem zopár opatrení, o ktorých sa domnievam, že sú technicky zvládnuteľné pre Veľkú Britániu do roku 2050. Všetky budú obsahovať rovnaké hodnoty na strane spotreby. Znovu zdôrazňujem, že si nemyslím, že ide o správny plán našej spotreby, alebo dokonca jediný plán. Chcem sa len vyhnúť tomu, aby som vás zahltil prílišným počtom plánov. Na strane výroby opíšem plány využívajúce rozličnú zmes obnoviteľných zdrojov, „čisté uhlie“ a jadrovú energiu.

### **Súčasná situácia**

Súčasná situácia v modeli našej krajiny vyzerá takto: doprava (ľudí aj tovaru) spotrebuje 40 kWh/deň na osobu. Väčšinu tejto energie v súčasnosti poskytuje benzín, nafta alebo kerozín. Na ohrev vzduchu a vody sa spotrebuje 40 kWh/deň na osobu. Väčšinu tejto energie v súčasnosti zabezpečuje zemný plyn. Dodávky elektriny dosahujú 18 kWh/d/o a využívajú palivo (najmä uhlie, zemný plyn a jadro) s energetickým obsahom 45 kWh/d/o. Zvyšných 27 kWh/d/o sa spotrebuje tak, že 25 kWh/d/o ide hore chladiacimi vežami a 2 kWh/d/o sú straty vo vedení rozvodnej siete. Celkový energetický vstup dnes predstavuje pre krajinu 125/kWh/d/o.

Obrázok 27.1 Súčasná spotreba na osobu v „modeli Veľkej Británie 2008“ (dva stĺpce vľavo) a budúci plán spotreby spolu s možným využívaním palív (dva stĺpce vpravo). Tento plán vyžaduje, aby sa výroba elektriny zvýšila z 18 na 48 kWh/d/o.



### Spoločné črty všetkých piatich plánov

V zjednodušenom budúcom modeli krajiny poklesne spotreba energie zavedením účinnejších technológií v doprave a vo vykurovaní.

V piatich energetických plánoch budúcnosti bude **doprava** zväčša elektrifikovaná. Elektrické motory sú účinnejšie ako benzínové, takže energia potrebná na dopravu sa zníži. Hromadná doprava (takisto elektrifikovaná) je lepšie integrovaná, lepšie riadená a lepšie podporovaná. Predpokladal som, že elektrifikácia zvýši účinnosť 4-násobne a že ekonomický rast niektoré z týchto úspor zníži. Celkový efekt prinesie zníženie spotreby energie o polovicu. Existuje niekoľko dôležitých vozidiel, ktoré nie je ľahké elektrifikovať a pre tie sa budú vyrábať vlastné kvapalné palivá (napríklad bionafta,

biometanol alebo bioetanol z celulózy). Energia pre dopravu predstavuje 18 kWh/d/o elektriny a 2 kWh/d/o kvapalných palív. Akumulátory elektrických vozidiel slúžia ako zariadenia na uskladňovanie energie, čím pomáhajú vyrovnáť sa s výkyvmi dopytu a ponuky v elektrine. Plocha potrebná na pestovanie biopalív je približne 12 % krajiny (500 m<sup>2</sup> na osobu), pri predpoklade účinnosti rastlín 1 % a účinnosti premeny rastliny na palivo 33 %. Ešte je možné biopalivá dovážať, ak by sme presvedčili iné krajiny, aby venovali potrebnú plochu (veľkú ako Wales) poľnohospodárskej pôdy na ich pestovanie pre nás.

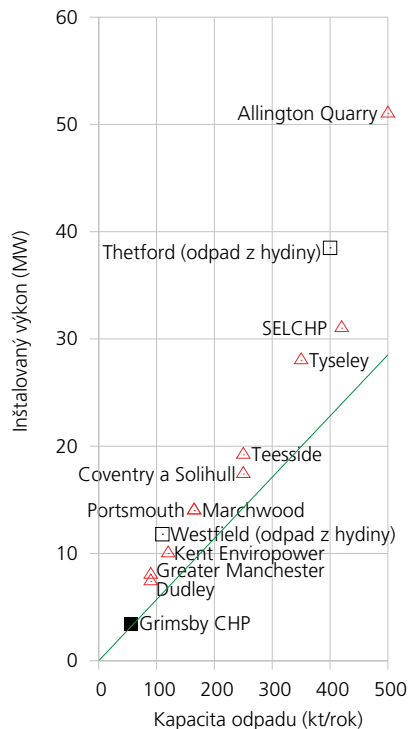
Vo všetkých piatich plánoch poklesla spotreba energie na **vykurovanie** zlepšením tepelnej izolácie všetkých budov a zlepšovaním regulácie teploty (pomocou termostatov, vzdelávania a propagovaním nosenia svetrov známymi osobnosťami). Nové budovy (postavené po roku 2010) sú naozaj dobre tepelne izolované a takmer nevyžadujú vykurovanie. Staré budovy (ktoré budú v roku 2050 stále prevažovať) budú vykurované prevažne tepelnými čerpadlami využívajúcimi teplo zeme a vzduchu. Časť budov umiestnených blízko obhospodarovaných lesov a energetických plantáží bude vykurovaná biomasou. Energia potrebná na vykurovanie tak klesá zo 40 kWh/d/o na 12 kWh/d/o elektriny, 1 kWh/d/o zo solárnych tepelných kolektorov a 5 kWh/d/o z dreva.

Drevo na výrobu tepla (alebo na kombinovanú výrobu elektriny a tepla) pochádza z blízkych lesov a energetických plodín (možno ozdobnica, vrbá alebo topol) na ploche 30 000 km<sup>2</sup>, resp. 500 m<sup>2</sup> na osobu. Zodpovedá to 18 % poľnohospodárskej pôdy vo Veľkej Británii, ktorá má rozlohu 2 800 m<sup>2</sup> na osobu. Energetické plodiny sa pestujú prevažne na menej kvalitných pôdach a kvalitnejšie pôdy sa ponechávajú pre poľnohospodárstvo. Každých 500 m<sup>2</sup> energetických plodín dodá 0,5 tony sušiny za rok, čo predstavuje energetický obsah 7 kWh/d. Z tejto energie sa stratí asi 30 % pri výrobe a distribúcii tepla. Koncové množstvo dodaného tepla je 5 kWh/d na osobu.

V týchto plánoch predpokladám, že súčasný dopyt po **elektrine** na prevádzku jednotlivých spotrebičov, osvetlenia a pod. zostane rovnaký. Takže stále potrebujeme 18 kWh/d/o elektriny. Áno, účinnosť svietenia sa zvýši prechodom na svetlo emitujúce diódy (LED) pri väčšine osvetlenia a mnoho iných spotrebičov bude účinnejších; ale vďaka požehnanému ekonomickému rastu sa počet spotrebičov v našich životoch zvýši, napríklad zariadenia pre video konferencie nám umožnia menej cestovať.

Celková spotreba elektriny pri tomto pláne narastá (vplyvom 18 kWh/d/o pre elektrifikovanú dopravu a 12 kWh/d/o pre tepelné čerpadlá) na 48 kWh/d/o (120 GW pre celú krajinu). To znamená takmer stonásobenie spotreby elektriny vo Veľkej Británii. Odkiaľ ju získame?

Pozrime sa na niektoré možnosti. Nie všetky z týchto možností sú „trvalo udržateľné“ tak, ako je to v tejto knihe definované. Ide však vždy o nízkouhlíkové plány.



Obrázok 27.2 Zariadenia na spaľovanie odpadu. Čiara zobrazuje priemerný elektrický výkon pri predpoklade 1 kg odpadu → 0,5 kWh elektriny.

## Ako vyrobiť veľa elektriny – jednotlivé zložky

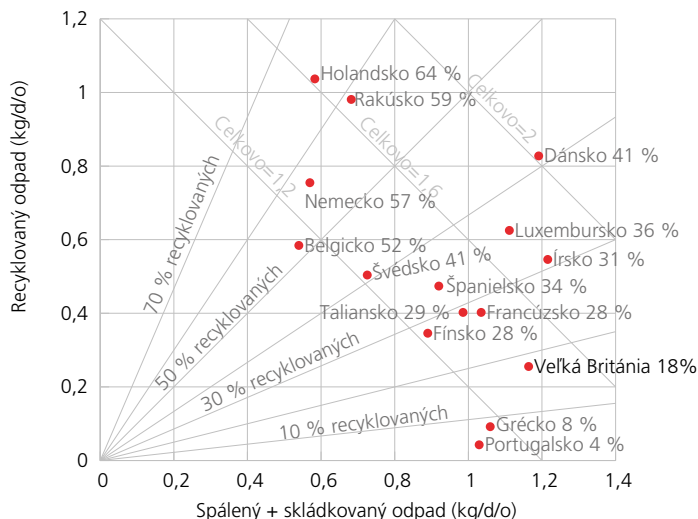
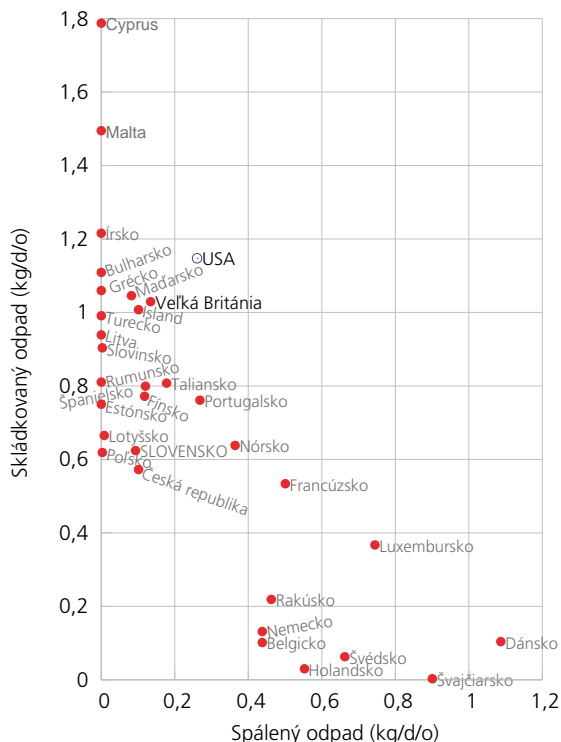
Aby sme mohli vyrobiť veľa elektriny, každý plán využíva určité množstvo energie z veterných parkov na pevnine a na mori, pravdepodobne niečo z domácich fotovoltaických elektrární alebo elektriny nakúpenej z fotovoltaických elektrární z krajín s púšťami; zo spaľovania odpadu (vrátane tuhých odpadov a odpadov v poľnohospodárstve); z energie vody (rovnaké množstvo elektriny, aké získavame dnes), možno z energie vln a prílivu; zrejme z jadrovej energie; a pravdepodobne z „čistých fosílnych palív“, t.j. uhlia s technológiou zachytávania a uskladňovania uhlíka. Každý z plánov má za cieľ dosiahnuť celkovú výrobu elektriny v priemere 50 kWh/d/o. Toto číslo som dostal zaokrúhľením 48 kWh/d/o, čo počíta s určitými stratami v rozvodnej sieti.

Niektoré z nasledujúcich plánov budú vyžadovať dovoz elektriny z iných krajín. Na porovnanie môže byť užitočné pozrieť sa na to, koľko elektriny dovážame dnes. Odpoveď je, že v roku 2006 doviezla Veľká Británia 28 kWh/d/o paliva – 23 % svojej primárnej spotreby. Na dovoze sa najviac podieľalo uhlie (18 kWh/d/o), ropa (5 kWh/d/o) a zemný plyn (6 kWh/d/o). Jadrové palivo (urán) sa spravidla nepočíta medzi dovoz, pretože jeho uskladnenie je jednoduché.

Vo všetkých energetických plánoch predpokladám, že zvýšime podiel spaľovania komunálneho odpadu. Takmer všetok nerecyklovaný odpad sa spáli. Spálením 1 kg odpadu za deň sa získa cca 0,5 kWh/d/o elektriny. Predpokladám, že sa spáli aj podobné množstvo poľnohospodárskeho odpadu, s výťažkom 0,6 kWh/d/o. Vyžiada si to zhruba 3 GW inštalovaného výkonu, teda 10-násobný nárast výkonovej kapacity spaľovní oproti roku 2008 (obr. 27.2). Londýn (so 7 miliónmi obyvateľov) bude mať dvanásť spaľovní s výkonom 30 MW na výrobu elektriny. Takých, ako je elektráreň SELCHP v južnom Londýne (pozri str. 287). Birmingham (s 1 miliónom obyvateľov) bude mať dve. Každé mesto s 200 000 obyvateľmi bude mať jednu spaľovňu s výkonom 10 MW. Obavy, že spaľovanie odpadu v tomto rozsahu by bolo ťažké dosiahnuť, že by bolo znečisťujúce alebo nebezpečné, by sa mali zmierniť po preštudovaní obrázka 27.3. Ten ukazuje, že mnoho krajín v Európe spaľuje oveľa viac odpadu na osobu ako Veľká Británia. Medzi tieto krajiny patrí Nemecko, Švédsko, Dánsko, Holandsko a Švajčiarsko, čo zväčša nie sú krajiny s hygienickými problémami! Jeden priaznivý vedľajší účinok spaľovní spočíva v tom, že znižujú emisie metánu zo skládok.

Vo všetkých piatich plánoch prispieva energia z vody 0,2 kWh/d/o, rovnako ako dnes.

Elektromobily sa používajú ako dynamicky prispôsobiteľné zaťaženie elektrickej siete. Priemerný výkon požadovaný pre nabitie elektrických automobilov je 45 GW (18 kWh/d/o). Výkyvy v obnoviteľných zdrojoch, ako je solárna a veterná energia, možno vyrovnávať zapínaním a vypínaním tejto kapacity, ak nie sú príliš dlhé alebo výrazné. Denné skoky v dopyte po elektrine budú väčšie ako dnes, pretože plyn používaný na varenie a vykurovanie nahradí elektrina (pozri obr. 26.16, str. 200). Aby bolo možné pokryť výkyvy v spotrebe



Obrázok 27.3 Vľavo: Množstvo komunálneho tuhého odpadu na skládkach, proti odpadu spálenému, v kg za deň na osobu, podľa krajín. Vpravo: Množstvo recyklovaného odpadu proti skládkovanému a spálenému odpadu. Za každou krajinou sú percentá recyklovaného odpadu.

do 10 GW, ktoré trvajú 5 hodín, všetky plány zahŕňajú postavenie piatich nových zariadení na uskladňovanie energie prečerpávaním tak ako v Dinorwigu (alebo zlepšenie existujúcich vodných elektrární). Kapacita uskladňovania 50 GWh predstavuje päťnásobok Dinorwigu, každý s kapacitou 2 GW. Niektoré z plánov budú vyžadovať ešte viac tejto kapacity. Vo všetkých plánoch bude ako poistka postavenie HVDC spojenia s Nórskom s kapacitou 2 GW.

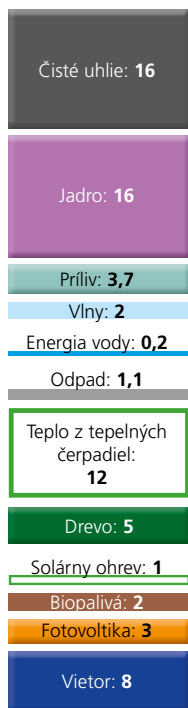
### Ako vyrobiť veľa elektriny – plán D

Plán D („D“ ako „domacia diverzita“) využíva každú možnosť domácich zdrojov elektriny a pomerne málo závisí od jej dovozu z iných krajín.

Tu je predstava, ako plán D získa svojich 50 kWh/d/o. Veterná energia: 8 kWh/d/o (20 GW v priemere, 66 GW maximum) (plus približne 400 GWh z prečerpávacích vodných elektrární). Fotovoltika: 3 kWh/d/o. Spaľovanie odpadu: 1,1 kWh/d/o. Energia vody: 0,2 kWh/d/o. Energia vln: 2 kWh/d/o. Energia prílivu: 3,7 kWh/d/o. Jadrová energia: 16 kWh/d/o (40 GW). „Čisté uhlie“: 16 kWh/d/o (40 GW).

Získať 8 kWh/d/o z veternej energie vyžaduje 30-násobný nárast oproti inštalovanému výkonu v roku 2008. Veľká Britániu by tak mala takmer 3-násobne viac výkonu z vetra, ako má dnes Nemecko. To by vyžadovalo pomoc 50 zdvižných nákladných lodí počas 10 rokov.

## v kWh/d



Obrázok 27.4 Plán D.

Získať 3 kWh/d/o zo solárnej energie pomocou fotovoltiky vyžaduje 6 m<sup>2</sup> panelov na osobu s účinnosťou 20 %. Väčšinu striech s južnou orientáciou bude nutné úplne pokryť panelmi, prípadne, a to by mohlo byť ekonomickejšie a spôsobiloby to tiež menej starostí Lige na ochranu starých budov, by bolo možné postaviť veľa z týchto panelov na vidieku tradičným bavorským štýlom (obr. 6.7, str. 41).

Domáceho odpadu sa spáli 1 kg za deň na osobu (so ziskom 0,5 kWh/d/o) a podobné množstvo poľnohospodárskeho odpadu so ziskom 0,6 kWh/d/o. Elektrina z vodnej energie predstavuje 0,2 kWh/d/o, t.j. také isté množstvo, aké máme z vody dnes.

Výkon získaný z vln vyžaduje 16 000 zariadení na vzdialenom mori podobných Pelamisu, ktoré by zaberali 830 km pobrežia Atlantiku (pozri mapu na str. 73).

Premena energie prílivu a odlivu na elektrinu bude zabezpečená v prílivových prietokových elektrárňach s celkovým inštalovaným výkonom 5 GW, v priehrade na rieke Severn s inštalovaným výkonom 2 GW a v akumulačných prílivových lagúnach, ktoré môžu zároveň slúžiť ako zariadenia na uskladňovanie energie s inštalovaným výkonom 2,5 GW.

Aby sme vyrobili 16 kWh/d/o z jadrovej energie, potrebujeme výkon 40 GW, čo predstavuje zhruba 4-násobný nárast inštalovaného výkonu oproti roku 2007. Pri tomto množstve by sme sa nachádzali medzi Belgickom, Fínskom, Francúzskom a Švédskom, čo sa týka výroby na obyvateľa: Belgicko a Fínsko vyrábajú zhruba 12 kWh/d/o; Francúzsko 19 kWh/d/o a Švédsko 20 kWh/d/o.

Aby sme získali 16 kWh/d/o z „čistého uhlia“ (40 GW), museli by sme vziať všetky súčasné tepelné elektrárne, ktoré dodávajú približne 30 GW, zaistiť k nim systémy zachytávania a uskladňovania oxidu uhličitého, čo by znížilo ich výkon na 22 GW a potom postaviť ďalšie s čistým uhlím s celkovým inštalovaným výkonom 18 GW. Táto úroveň tepelných elektrární si vyžiada energetický vstup 53 kWh/d/o v podobe uhlia, čo je o niečo viac ako celková miera, akou v súčasnosti spaľujeme všetky fosílné palivá v elektrárňach a výrazne nad úrovňou, ktorú v kapitole 23 považujeme za „trvalo udržateľnú“. Táto miera spotreby je zhruba trojnásobne vyššia, ako súčasná miera dovozu uhlia (18 kWh/d/o). Ak by sme znovu neotvorili britské uhoľné bane, tento plán by sa spoliehal na 32 % elektriny získanej z dovážaného uhlia. Znovu otvorené bane by dodávali približne 8 kWh/d/o. V každom prípade by Veľká Británia v prípade uhlia nebola sebestačná.

Zdajú sa vám niektoré návrhy v tomto pláne nezmyselné alebo nežiaduce? Ak áno, možno sa vám viac budú pozdávať nasledujúce plány.

### Ako vyrobiť veľa elektriny – plán N

Plán N je plán „NIMBY“ [„Not In My Backyard“, teda „nie na mojom dvore“ – pozn. prekl.] - pre ľudí, ktorí nemajú radi spriemyslenie britského vidieka zariadeniami na získavanie obnoviteľnej energie, a ktorí nechcú ani nové jadrové elektrárne. Podme postupne.



Najprv znížime vysoké príspevky elektriny z obnoviteľných zdrojov v pláne D na: vietor: 2 kWh/d/o (5 GW v priemere); fotovoltaika: 0; vlny: 0; príliv: 1 kWh/d/o.

Práve sme stratili 14 kWh/d/o (celkovo 35 GW) odstavením obnoviteľnej energie (aby ste to nepochopili zle, elektriny z vetra je stále osemnásobne viac ako v roku 2008).

V pláne NIMBY znížime aj príspevok jadrovej energie na 10 kWh/d/o (25 GW), čo je zníženie o 15 GW v porovnaní s plánom D, ale stále podstatný nárast oproti dnešným hodnotám. 25 GW z jadra by podľa mňa mohlo byť vtieraných do existujúcich lokalít, čím by sa dalo vyhnúť stavbe na nových územiach. Príspevok čistého uhlia som ponechal nezmenený na 16 kWh/d/o (40 GW). Príspevky vodných elektrární a spaľovní odpadu zostávajú rovnaké ako v pláne D.

Kde získame dodatočných 50 GW? Princíp NIMBY hovorí „nie v mojom okolí, ale v okolí niekoho iného“. Takže NIMBY plán zaplatí iným krajinám za dovoz elektriny zo Slnka z ich púští, aby sme tak získali 20 kWh/d/o (50 GW).

Tento plán vyžaduje vybudovanie piatich blokov slnečných elektrární, každý s veľkosťou Londýna (44 km v priemere) v púšti v okolí Stredomoria. Vyžaduje tiež zariadenia na dovoz 50 GW elektriny do Veľkej Británie. Dnešné vysokonapäťové spojenie s Francúzskom dokáže preniesť iba 2 GW výkonu. Takže tento plán potrebuje 25-násobný nárast v kapacite elektrického spojenia s kontinentom (alebo ekvivalentné riešenie pre prenos výkonu - možno lode naložené metanolom alebo bórom, ktoré budú pravidelne merať svoju cestu od púští zo Stredomoria).

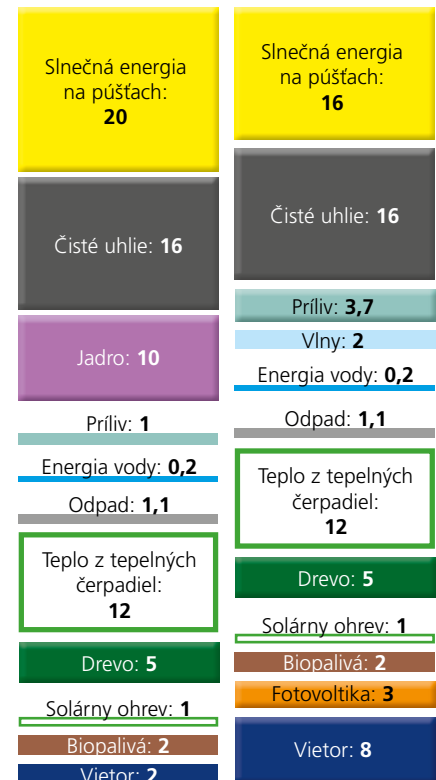
Keď stačí menej energie z vetra, v pláne N nepotrebujeme vo Veľkej Británii stavať ďalšie kapacity na uskladňovanie energie spomínané v pláne D. No vzhľadom na závislosť od nerovnomerného slnečného svetla je stále potrebné postaviť niekde zariadenia na uskladňovanie energie. Jednou z možností sú uskladňovacie zariadenia na princípe roztavenej soli pri solárnych elektrárnach. Uskladňovať energiu by bolo možné v prečerpávacích vodných elektrárnach aj niekde v Alpách. Premena elektriny do uskladniteľného paliva, napríklad metanolu, predstavuje ďalšiu možnosť, hoci premeny energie predstavujú straty, a preto by vyžadovali viac solárnych elektrární.

Tento plán získava 32 % + 40 % = 72 % elektriny Veľkej Británie z iných krajín.

### Ako vyrobiť veľa elektriny – plán L

Niektorí ľudia hovoria „nechceme jadrovú energiu“! Ako im môžeme vyhovieť? Možno by to mohla byť úloha pre antijadrových lobistov, aby presvedčili zástancov NIMBY, že predsa len nakoniec potrebujeme obnoviteľnú energiu na našom vidieku.

v kWh/d



Obrázok 27.5  
Plán N.

Obrázok 27.6  
Plán L.

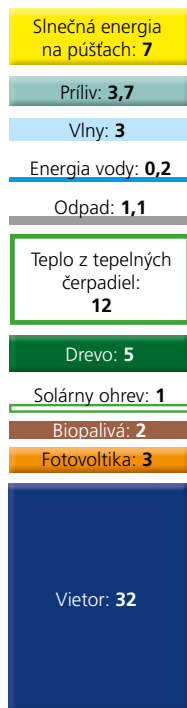
Môžeme vytvoriť bezjadrový plán zrušením plánu D, zachováme všetky obnoviteľné zdroje energie v našej krajine a vymeníme jadrovú energiu za energiu z púšte. Tak ako v pláne N, dovoz energie z púšte vyžaduje veľký nárast prenosovej kapacity medzi severnou Afrikou a Veľkou Britániou. Spojenie Európa – Veľká Británia by bolo treba zvýšiť z 2 GW na 40 GW.

To je spôsob, ako plán L získa svojich 50 kWh/d/o. Elektrina z vetra: 8 kWh/d/o (priemerný výkon 20 GW) (plus približne 400 GWh energie z pridružených prečerpávacích vodných elektrární). Fotovoltika: 3 kWh/d/o. Elektrina z vody a spaľovania odpadu: 1,3 kWh/d/o. Elektrina z energie vln: 2 kWh/d/o. Elektrina z prílivovej energie: 3,7 kWh/d/o). „Čisté uhlie“: 16 kWh/d/o (40 GW). Elektrina zo solárnej energie na púšťach: 16 kWh/d/o (priemerný výkon 40 GW).

Podľa tohto plánu by sa do Veľkej Británie dovážalo 64 % elektriny z iných krajín.

Nazývam ho plán L, pretože je v súlade s opatreniami liberálnych demokratov – aspoň im zodpovedal, keď som prvý raz písal túto kapitolu v polovici roku 2007. Nedávno hovorili o „skutočnej energetickej nezávislosti pre Veľkú Britániu“ a oznámili opatrenia pre nulové emisie CO<sub>2</sub>, podľa ktorých by sa Veľká Británia stala celkovým vývozcom energie. Tieto návrhy však nešpecifikujú spôsob, ako je možné tento cieľ dosiahnuť.

## v kWh/d



Obrázok 27.7 Plán G.

## Ako vyrobiť veľa elektriny – plán G

Niektorí ľudia hovoria, „nechceme jadrovú energiu a nechceme uhlie“! Vyzerá to ako dobrý cieľ, ale potrebujeme plán, ktorý to zaistí. Nazývam ho plán G, pretože sa domnievam, že Strana zelených nechce jadro alebo uhlie, hoci si nemyslím, že väčšina zelených by súhlasila so zvyškom plánu. Viem, že Greenpeace miluje vietor, takže plán G som venoval aj im, pretože obsahuje veľa vetra.

Plán G som znovu vytvoril na základe plánu D. Zvýšil som príspevok elektriny získanej z energie vln o 1 kWh/d/o (pridaním peňazí do výskumu vln a zvýšením účinnosti prevodníka Pelamis) a zvýšil som príspevok energie z vetra štvornásobne (oproti plánu D) na 32 kWh/d/o, takže z vetra sa zabezpečí 64 % všetkej elektriny. Celkovo to predstavuje 120-násobný nárast výrobnnej kapacity z vetra vo Veľkej Británii oproti dnešnému stavu. Podľa tohto plánu by sme museli svetovú výrobnú kapacitu z vetra z roku 2008 zvýšiť štvornásobne a celý tento nárast by sa musel odohrať v okolí Britských ostrovov.

Obrovská závislosť plánu G od energie z obnoviteľných zdrojov, osobitne z vetra, vytvára problémy pre našu hlavnú metódu na vyrovnanie ponuky a dopytu, t.j. nastaveniu nabíjania miliónov dobíjateľných akumulátorov v doprave. Do plánu G musíme zahrnúť významné doplnkové kapacity v prečerpávacích vodných elektrárnach, ktoré by dokázali vyrovnať odchýlky množstva elektriny z vetra v časovom horizonte dní. Prečerpávacie elektrárne s kapacitou 400 Dinorwigov môžu úplne nahradiť výpadok výroby

elektriny z vetra na 2 dni. Na tento účel bude treba prispôsobiť približne 100 najväčších jazier na Britských ostrovoch.

Elektrinu v pláne G môžeme rozložiť nasledovne. Vietor: 32 kWh/d/o (80 GW v priemere) (plus približne 4 000 GWh súvisiacej kapacity na uskladňovanie energie). Fotovoltika: 3 kWh/d/o. Elektrina z vody a spaľovania odpadu: 1,3 kWh/d/o. Vlny: 3 kWh/d/o. Prílív: 3,7 kWh/d/o. Elektrina zo slnečnej energie na púšťach: 7 kWh/d/o (17 GW).

Tento plán získava 14 % svojej elektriny z iných krajín.

### Ako vyrobiť veľa elektriny – plán E

E znamená „ekonómia“. Piaty plán je hrubý odhad toho, čo by sa mohlo stať na voľnom trhu s energiami s vysokou cenou emisií CO<sub>2</sub>. Pri vysokej cene emisií CO<sub>2</sub> ekonomické pravidlá neumožňujú rôznorodé riešenia s veľkým rozsahom nákladov na výkon; skôr sa dá čakať ekonomicky optimálne riešenie, ktoré zabezpečí požadované množstvo výkonu pri najnižšej cene. Ak spolu súperia „čisté uhlie“ a jadro, vyhráva jadro. (Inžinieri z UK electricity generator [výrobca elektriny v Anglicku – pozn. prekladateľa] mi povedali, že investičné náklady klasickej uhoľnej elektrárne predstavujú 1 miliardu libier na 1 GW inštalovaného výkonu, teda približne rovnaké, ako v prípade jadra. Investičné náklady v prípade výkonu z „čistého uhlia“, vrátane zachytávania a uskladňovania CO<sub>2</sub>, predstavujú približne 2 miliardy libier na GW inštalovaného výkonu.) Predpokladal som, že slnečná energia v púšťach iných krajín stráca oproti jadrovej energii, keď vezmeme do úvahy náklady na vybudovanie 2 000 km dlhých prenosových sietí (hoci van Voorthuysen (2008) predpokladá, že pri objavoch v technológii výroby chemických palív zo slnečnej energie na úrovni Nobelovej ceny by sa slnečná energia v púšťach stala ekonomicky porovnateľnou s jadrovou energiou). Aj veterná energia získaná na mori pri pobreží prehráva na úkor jadrovej, no predpokladal som, že energia z vetra na pobreží stojí približne rovnako ako z jadra.

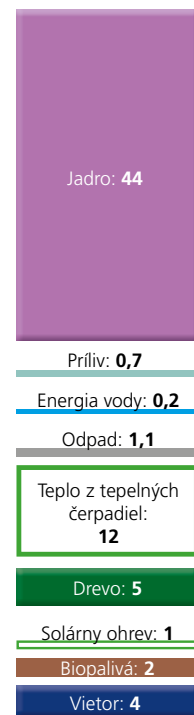
Tu je spôsob, akým plán E zabezpečí výrobu svojich 50 kWh/d/o elektriny. Veterná energia: 4 kWh/d/o (10 GW v priemere). Fotovoltika: 0. Energia vody a spaľovania odpadu: 1,3 kWh/d/o. Energia morských vln: 0. Energia prílivu: 0,7 kWh/d/o. A jadrová energia: 44 kWh/d/o (110 GW).

Tento plán predstavuje desaťnásobný nárast v získavaní energie z jadra v porovnaní s rokom 2007. Veľká Británie by tak získavala 110 GW, čo predstavuje asi dvojnásobok výkonu z jadra vo Francúzsku. Zahrnul som aj trochu výkonu z prílivu a odlivu, pretože si myslím, že dobre skonštruovaná prílivová akumulácia elektrárne s lagúnou dokáže konkurovať jadrovej energii.

V tomto pláne nepotrebuje Veľká Británie dovoz energie (okrem uránu, ktorý, ako som uviedol skôr, sa normálne do dovozu nepočíta).

Obrázok 27.9 znázorňuje všetkých päť plánov.

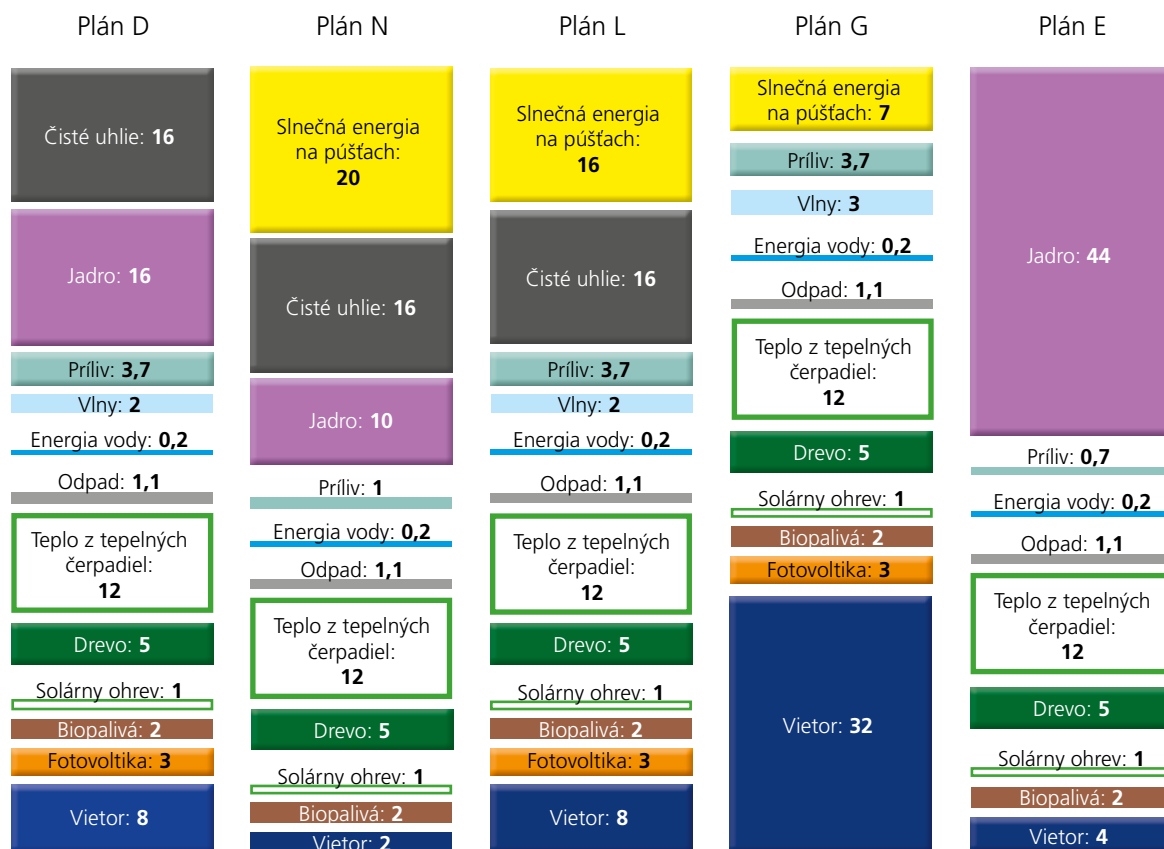
### v kWh/d



Obrázok 27.8 Plán E.

## Aký je vzťah plánov k uskladňovaniu CO<sub>2</sub> a lietaniu

Aby sme sa v budúcom svete, v ktorom sa vhodne zdaní znečisťovanie CO<sub>2</sub>, vyhli katastrofickej klimatickej zmene, bude nás zaujímať akýkoľvek návrh, ktorý dokáže uložiť zvyšný CO<sub>2</sub> pri nízkej cene do bezpečia. Takéto návrhy neutralizácie CO<sub>2</sub> nám umožnia pokračovať v lietaní na úrovni z roku 2004 (až kým vystačí ropa). V roku 2004 sme mali priemerné emisie CO<sub>2</sub> z lietania približne 0,5 tony CO<sub>2</sub> za rok na osobu. Ak započítame úplný skleníkový vplyv lietania, skutočné emisie by boli približne 1 t CO<sub>2</sub> e za rok na osobu. Ďalej, vo všetkých piatich plánoch som predpokladal, že 1/9 rozlohy Veľkej Británie sme obetovali na pestovanie energetických plodín, ktoré sme potom využili na vykurovanie a kombinovanú výrobu elektriny a tepla. Ak by sme namiesto toho presmerovali tieto plodiny do elektrární s technológiou zachytávania a uskladňovania CO<sub>2</sub> – elektrárne s „čistým uhlím“ uvedené v troch plánoch – potom by bolo množstvo zachyteného CO<sub>2</sub> približne 1 tona CO<sub>2</sub> za rok na osobu. Ak by sme spaľovne na komunálny a poľnohospodársky odpad tiež umiestnili do elektrární s čistým uhlím, možno by sme mohli



Obrázok 27.9 Všetkých päť plánov.

zvýšiť množstvo zachyteného uhlíka na 2 tony CO<sub>2</sub> na osobu za rok. Toto usporiadanie by znamenalo ďalšie náklady. Biomasu a odpad by sme možno museli prevážať na väčšie vzdialenosti. Proces zachytávania a uskladňovania CO<sub>2</sub> by vyžadoval významný podiel energie získanej z energetických plodín. Straty tepla pri vykurovaní budov by bolo nutné nahradiť viacerými tepelnými čerpadlami využívajúcimi teplo vzduchu. Ak je však naším cieľom CO<sub>2</sub> neutrálne prostredie, stálo by za to dopredu plánovať lokality pre nové tepelné elektrárne s technológiou „čistého uhlia“ a so spaľovňami odpadu v regiónoch blízko potenciálnych plantáží na pestovanie biomasy.

### **„Všetky tieto plány sú absurdné!“**

Ak sa vám tieto plány nepáčia, neprekvapuje ma to. Súhlasím, že na každom z nich je niečo neprijateľné. Pokojne navrhňte iný plán podľa vlastných predstáv. Ale ubezpečte sa, že dáva zmysel!

Možno dospejete k záveru, že zmysluplný plán musí zahŕňať nižšiu spotrebu na obyvateľa. S tým by som mohol súhlasiť, takýto návrh sa však ťažko presadzuje – pripomeňte si odpoveď Tonyho Blaira (str. 222), keď mu niekto navrhol, aby lietal na dovolenky za oceánom menej často!

Alebo môžete dospieť k záveru, že máme príliš vysokú hustotu obyvateľstva, a že zmysluplný plán zahŕňa menej ľudí. Znovu, ide o ťažko uskutočniteľný plán.

### **Poznámky a ďalšie čítanie**

Strana číslo

- 206 *Spálením 1 kg odpadu za deň na osobu získame približne 0,5 kWh elektriny.* Energetická hodnota komunálneho tuhého odpadu je približne 2,6 kWh na kg; elektrárne spaľujúce odpad vyrábajú elektrinu s účinnosťou približne 20 %. Zdroj: Príručka SELCHP.
- 207 *Obrázok 27.3.* Údaje z Eurostatu, [www.epa.gov](http://www.epa.gov) a [www.esrcsocietytoday.ac.uk/ESRCInfoCentre/](http://www.esrcsocietytoday.ac.uk/ESRCInfoCentre/).
- 210 *Opatrenia liberálnych demokratov.* Pozri [www.libdems.org.uk](http://www.libdems.org.uk): [5os7dy], [yrw2oo].

v kWh/d



Obrázok 28.1 Plán M.

## 28 Náklady v perspektíve

### Plán na mape

Dovoľte mi znázorniť rozsah jednotlivých plánov predchádzajúcej kapitoly tým, že ukážem mapu Veľkej Británie so šiestym plánom. Tento plán sa nachádza niekde v strede predchádzajúcich piatich plánov. Nazývam ho plán M [middle – stred – pozn. prekl.] (obr. 28.1).

Lokality a hrubé odhady nákladov zariadení znázorňuje tabuľka 28.3. Konečné náklady sú pre jednoduchosť vypočítané podľa dnešných cien porovnateľných zariadení, z ktorých mnohé sú zatiaľ iba prototypy. Možno preto očakávať, že veľa cien významne poklesne. Hrubé náklady tu uvedené sú náklady na budovanie a nezahŕňajú prevádzkové náklady alebo náklady spojené s vyradením z prevádzky. Náklady „na osobu“ sú vypočítané vydelením 60 miliónmi. Prosím, majte na pamäti, že toto nie je ekonomická kniha – tá by vyžadovala ďalších 400 strán! Náklady udávam len pre hrubý odhad konečnej ceny, ktorú možno očakávať pri uskutočnení zmysluplného plánu.

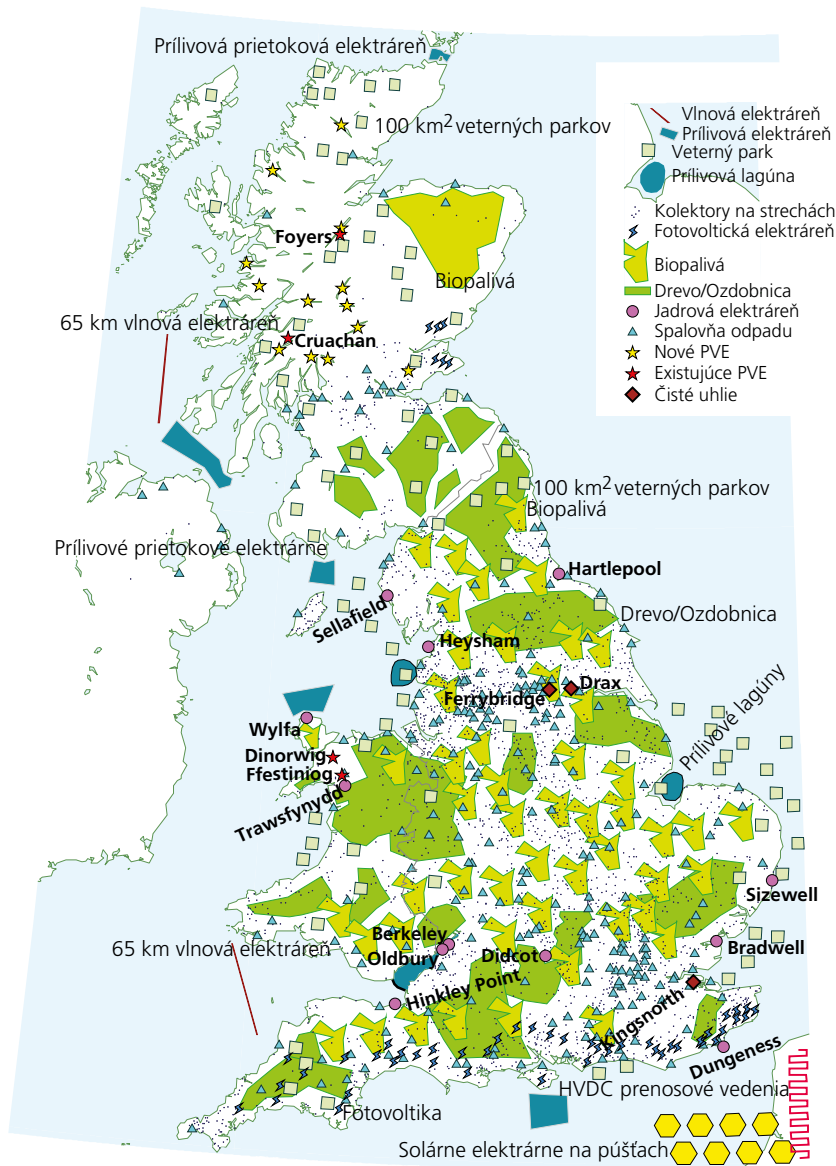
Rád by som zdôraznil, že nie som zástancom tohto konkrétneho plánu. Zahŕňa niekoľko charakteristík, ktoré by som ja, ako vodca Veľkej Británie nezvolil. Úmyselne som vybral všetky dostupné technológie, preto si môžete skúsiť zostaviť svoje vlastné plány v inom proporčnom rozložení.

Napríklad, ak povieť, že „fotovoltaika bude príliš drahá, chcel by som radšej plán s väčším zastúpením energie vln“, viete, ako to urobiť. Potrebujete zvýšiť množstvo prílivových elektrární osemnásobne. Ak sa vám nepáčia lokality pre veterné turbíny, pokojne ich presuňte inam. Ale kam? Majte na pamäti, že ak ich presuniete viac do oceánu, zvýši to náklady. Ak chcete menej turbín, nie je problém – len treba špecifikovať, ktoré z technológií ich nahradia. Môžete nahradiť päť 100 km<sup>2</sup> veterných parkov tým, že napríklad pridáte 1 GW jadrovú elektráreň.

Možno si pomyslíte, že tento plán (ako každý z plánov v predchádzajúcej kapitole) zahŕňa nezmyselne veľké oblasti na biopalivá. V poriadku. Môžete preto dospieť k záveru, že spotrebu tekutých palív pre dopravu treba znížiť pod 2 kWh za deň na osobu, ktoré tento plán predpokladal; alebo že tekuté palivá treba vyrobiť iným spôsobom.

### Náklady prechodu z fosílnych na obnoviteľné zdroje

Postavenie každého veterného parku stojí niekoľko miliónov libier, pričom dodáva pár MW. Podľa veľmi hrubého odhadu z roku 2008, inštalovanie jedného wattu stojí približne jednu libru. Jeden kilowatt stojí tisíc libier. Megawatt z vetra stojí milión. Gigawatt jadrovej energie stojí približne miliardu, možno dve. Iné obnoviteľné zdroje sú drahšie. My (vo Veľkej Británii) v súčasnosti spotrebúvame celkový výkon zhruba 300 GW, väčšina ktorého pochádza z fosílnych palív. Môžeme preto očakávať, že výrazný prechod



Obrázok 28.2 Zmysluplný plán pre Škótsko, Anglicko a Wales. Sivozelené štvorce sú veterné farmy. Každá s veľkosťou 100 km<sup>2</sup> v skutočnej mierke. Červené čiary v mori sú vlnové elektrárne, tiež v skutočnej veľkosti.

Bledomodré mnohouholníky v tvare bleskov: solárne fotovoltaické elektrárne – každý 20 km<sup>2</sup>, ukázaný v skutočnej mierke. Modré mnohouholníky s ostrými hranami v mori: prílivové prietokové elektrárne.

Modré krúžky v mori (Blackpool a Wash): prílivové akumuláčnne elektrárne s lagúnami.

Svetlo zelené oblasti na súši: dreviny a plantáže rýchlo rastúcich porastov (v skutočnej veľkosti).

Svetlozlté oblasti: (biopalivá).

Malé modré trojuholníky: spaľovne

odpadu (nie sú v skutočnej veľkosti)

Veľké hnedé trojuholníky: elektrárne s čistým uhlím, spolu so spaľovaním biomasy (nie sú v skutočnej veľkosti).

Fialové body: jadrové elektrárne (nie sú v mierke) – 3,3 GW výkonu v priemere na každú z 12 lokalít.

Žlté šesťuholníky krížom cez kanál: koncentračné slnečné elektrárne v ďalekých púšťach (v skutočnej veľkosti, každá 335 km<sup>2</sup>).

Ružová zvlnená čiara vo Francúzsku predstavuje nové HVDC káble, 2 000 km dlhé, prenášajúce výkon 40 GW zo vzdialených púští do Veľkej Británie.

Žlté hviezdy v Škótsku: nové prečerpávacie vodné elektrárne.

Červené hviezdy: existujúce prečerpávacie vodné elektrárne.

Modré body: slnečné tepelné kolektory pre výrobu teplej vody na všetkých strechách.

na obnoviteľné zdroje a/alebo jadrovú energiu bude vyžadovať zhruba 300 GW inštalovaného výkonu obnoviteľných a/alebo jadrových zdrojov energie. Hrubé náklady budú predstavovať približne 300 miliárd libier. V tabuľke 28.3 sú zobrazené hrubé náklady až do výšky 870 miliárd libier, pričom dominujú zariadenia na využívanie energie zo Slnka. Fotovoltaické elektrárne stoja 190 miliárd a koncentračné solárne elektrárne 340 miliárd libier. Obe tieto položky môžu dramaticky klesať s nárastom ich výroby. Vládna správa, o ktorej informoval Guardian v auguste 2007, odhaduje, že

	Inštalovaný výkon	Hrubý odhad		Priemerná dodaná energia
		Celkovo	Na osobu	
52 veterných parkov na súši: 5 200 km <sup>2</sup>	35 GW	27 mld. £ – podľa veterného parku v Lewise	450 £	4,2 kWh/d/o
29 veterných parkov v mori: 2 900 km <sup>2</sup>	29 GW	36 mld. £ – podľa Kentish Flats a vrátane investície 3 mld. £ do zdvižných nákladných lodí	650 £	3,5 kWh/d/o
Prečerpávacie vodné elektrárne: 15 zariadení podobných Dinorwigu	30 GW	15 mld. £	250 £	
Fotovoltaické elektrárne: 1 000 km <sup>2</sup>	48 GW	190 mld. £ – podľa solárneho parku v Bavorsku	3 200 £	2 kWh/d/o
Solárne tepelné kolektory na teplú vodu: 1 m <sup>2</sup> strešného kolektoru na osobu. (60 km <sup>2</sup> celkovo)	2,5 GW (t) priemer	72 mld. £	1 200 £	1 kWh/d/o
Spaľovne odpadu: 100 nových 30 MW spaľovní	3 GW	8,5 mld. £ – podľa SELPCH	140 £	1,1 kWh/d/o
Tepelné čerpadlá	210 GW (t)	60 mld. £	1 000 £	12 kWh/d/o
Vlnové elektrárne – 2 500 Pelamis, 130 km mora	1,9 GW (0,76 GW priemer)	6 mld. £?	100 £	0,3 kWh/d/o
Priehrada Severn: 550 km <sup>2</sup>	8 GW (2 GW priemer)	15 mld. £	250 £	0,8 kWh/d/o
Elektrárne v prílivových lagúnach: 800 km <sup>2</sup>	1,75 GW priemer	2,6 mld. £?	45 £	0,7 kWh/d/o
Prílivové prietokové elektrárne: 15 000 turbín – 2 000 km <sup>2</sup>	18 GW (5,5 GW priemer)	21 mld. £?	350 £	2,2 kWh/d/o
Jadrové elektrárne: 40 elektrární	45 GW	60 mld. £ – podľa Olkiluoto, Fínsko	1 000 £	16 kWh/d/o
Elektrárne s technológiou CCS*	8 GW	16 mld. £	270 £	3 kWh/d/o
Koncentračné solárne elektrárne na púšťach: 2 700 km <sup>2</sup>	40 GW priemer	340 mld. £ – podľa Solúcar	5 700 £	16 kWh/d/o
Územie v Európe zabrané pre 1 600 km HVDC vedenia: 1 200 km <sup>2</sup>	50 GW	1 mld. £ – pri predpoklade ceny 7500 £ za ha	15 £	
2 000 km HVDC vedenia	50 GW	1 mld. £ – podľa odhadov Nemeckého vesmírneho centra	15 £	
Biopalivá: 30 000 km <sup>2</sup>		(náklady neodhadnuté)		2 kWh/d/o
Drevo/Ozdobnica: 31 000 km <sup>2</sup>		(náklady neodhadnuté)		5 kWh/d/o

Tabuľka 28.3

Oblasti pevniny a mora potrebné pre plán M, spolu s hrubými nákladmi. Náklady s otáznikom sú pre technológie, kde ešte nie sú k dispozícii náklady jednotlivých prototypov. „1 GW (t)“ zodpovedá jednému GW tepelného výkonu. [\*Skratka CCS – carbon capture and storage – zachytávanie a uskladňovanie CO<sub>2</sub> – pozn. prek.]



dosiahnutie „20 % do roku 2020“ (to znamená 20 % podiel energie z obnoviteľných zdrojov na celkovej spotrebe energie, čo by vyžadovalo nárast výkonu obnoviteľných zdrojov o 80 GW) by stálo „do 22 miliárd libier“. (Ročne by si to vyžiadalo 1,7 miliardy libier.) Hoci je tento odhad nižší ako 80 miliárd libier, ktorý by viac zodpovedal dnešnej skúsenosti, ako sme si ukázali, autori správy, ktorá nechcene prenikla do tlače, vnímali náklady 22 miliárd libier ako „prehnané“ a uprednostnili cieľ „9 %“. Ďalší dôvod, pre ktorý sa im cieľ „20 % do roku 2020“ nepáči, je, že vďaka výslednej úspore skleníkových plynov „riskujeme, že obchodovanie s emisnými povolenkami v EÚ bude zbytočné“. Strašná myšlienka!

### Iné záležitosti, ktoré stoja miliardu

Miliardy sú veľké čísla a ťažko sa predstavujú. Aby sme mali lepšiu predstavu o perspektíve nákladov spojených s ukončením využívania fosílnych palív, podme sa pozrieť na ďalšie veci, ktoré takisto vyčíslujeme v miliardách alebo miliónoch libier za rok. Mnohé z týchto nákladov vyjadrím tiež v jednotkách „na osobu“ rozdelením celkovej sumy na počet obyvateľov.

Možno najlepším spôsobom je porovnanie peňazí, ktoré už teraz miera na energiu každý rok. Vo Veľkej Británii predstavujú náklady na spotrebu energie 75 miliárd libier ročne a celková trhová hodnota spotrebovanej energie za rok predstavuje 130 miliárd libier. Myšlienka minúť 1,7 miliardy libier ročne na investície do budúcej energetickej infraštruktúry vôbec nevyzerá absurdne – je to menej ako 3 % našich súčasných výdavkov na energiu!

Názorné je aj porovnanie s výdavkami na poistenie. Niektoré investície majú neistú návratnosť – podobne ako poistenie. Jednotlivci a podniky vo Veľkej Británii minú na poistenie ročne 90 miliárd libier.

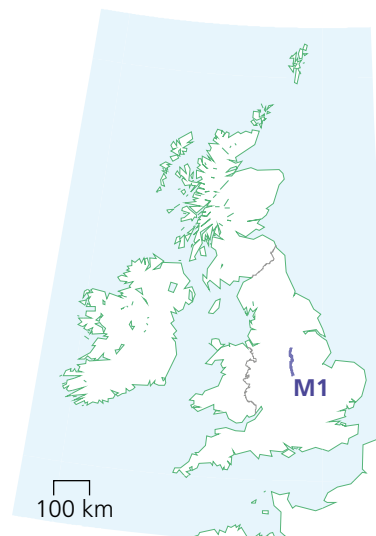
#### Dotácie

Suma 56 miliárd libier za 25 rokov: náklady na odstavenie jadrových elektrární a závodov na jadrové zbrane vo Veľkej Británii. To je podľa údajov z roku 2004. V roku 2008 to bolo už 73 miliárd (1 200 libier na osobu). [Geoyhg]

#### Doprava

4,3 miliardy libier: náklady na terminál 5 londýnskeho letiska Heathrow (72 libier na osobu).

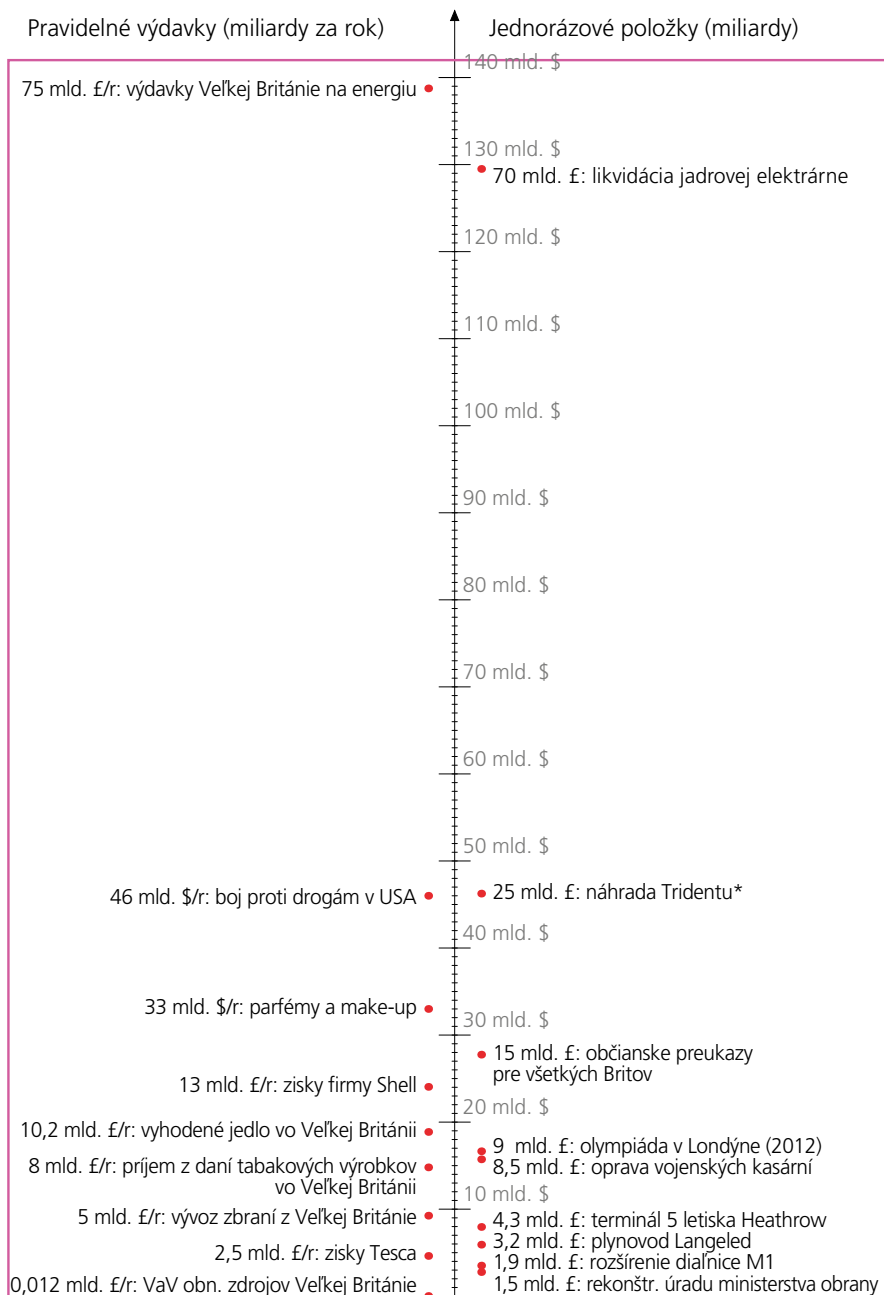
1,9 miliardy libier: náklady na rozšírenie 91 km diaľnice M1 (od križovatky 21 do 30, obr. 28.4). [yu8em5]. (32 libier na osobu).



Obrázok 28.4 Diaľnica M1, od križovatky 21 do 30.

Obrázok 28.5 Činnosti, ktoré stoja miliardy. Mierka osi má väčšie dieliky v intervale 10 miliárd libier a menšie dieliky v intervale 1 miliardy libier.

[\*Trident - britský jadrový zbraňový systém – pozn. prekl.]



*Mimoriadne udalosti*

Olympijské hry v Londýne 2012: 2,4 miliardy libier; nie, pardon, 5 miliárd [3x2cr4]; alebo možno 9 miliárd [2dd4mz]. (150 libier na osobu).

*Obchod a priemysel*

2,5 miliardy libier/rok: Zisky Tesca (ohlásené v roku 2007). (42 libier na osobu).

10,2 miliardy libier/rok: Peniaze na nákup jedla Britmi, ktoré zostane nezjedené. (170 libier na osobu).

11 miliárd libier/rok: Zisky spoločnosti British Petroleum (BP) (2006).

13 miliárd libier/rok: Zisky spoločnosti Royal Dutch Shell (2006).

40 miliárd dolárov/rok: Zisky spoločnosti Exxon (2006).

33 miliárd dolárov/rok: Svetové výdavky na parfumy a make-up.

700 miliárd dolárov/rok: Výdavky USA na dovoz ropy (2008). (2 300 dolárov na osobu v Spojených štátoch amerických).

*Vládne výdavky*

1,5 miliardy libier: Náklady na obnovu kancelárií ministerstva obrany. (Private Eye No. 1176, 19. januára 2007, str. 5) (25 libier na osobu).

15 miliárd libier: Náklady na zavedenie nových občianskych preukazov vo Veľkej Británii [7vlp] (250 libier na osobu).

*Plány do budúcnosti*

3,2 miliardy libier: Náklady na plynovod Langeled, ktorý dopraví plyn z Nórska do Veľkej Británie. Kapacita plynovodu je 20 miliárd m<sup>3</sup> za rok, čo zodpovedá výkonu 25 GW. [6x4nvu] [39g2wz] [3ac8sj]. (53 libier na osobu vo Veľkej Británii).

*Dane z tabaku a súvisiace hry*

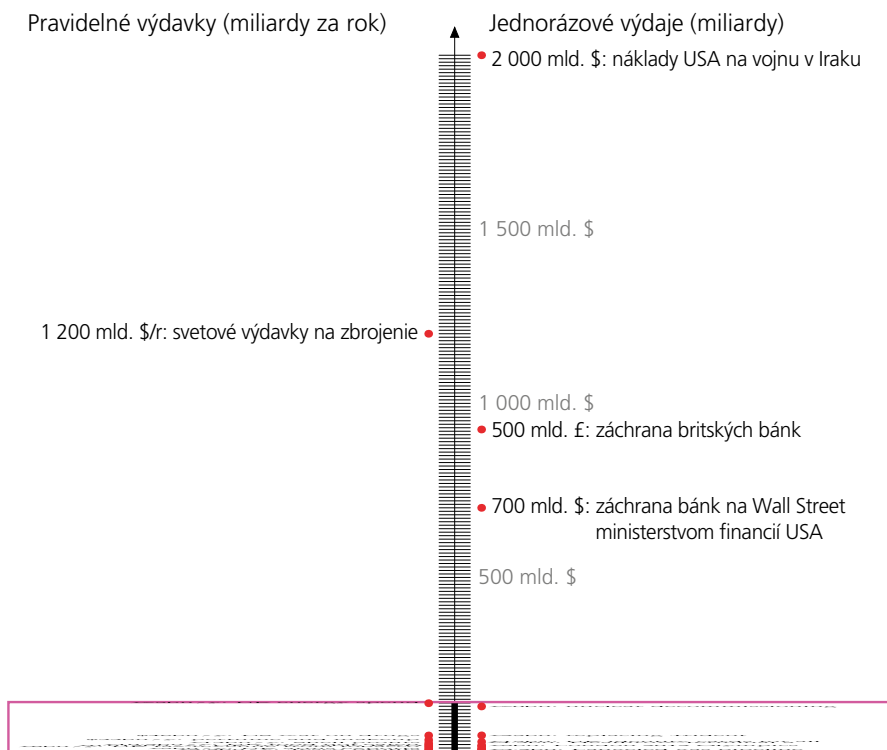
8 miliárd libier/rok: Ročný príjem z daní z tabaku vo Veľkej Británii [y7kg26] (130 libier na osobu vo Veľkej Británii). Európska únia vydá takmer 1 miliardu eur ročne na podporu pestovania tabaku. [www.ash.org.uk](http://www.ash.org.uk).

46 miliárd dolárov/rok: Ročné náklady na americkú „drogovú vojnu.“ [r9fcf] (150 dolárov na osobu v Spojených štátoch amerických).

*Vesmír*

1,7 miliardy dolárov: náklady na 1 raketoplán (6 dolárov na osobu v USA).

Obrázok 28.6 Zopár ďalších vecí, ktoré stoja miliardy. Vertikálna os je stlačená 20-násobne v porovnaní s predchádzajúcim obrázkom, 28.5, ktorý je zobrazený v mierke vnútri ružového poľa.



### Banky

700 miliárd dolárov: v októbri 2008 sa americká vláda zaviazala uvoľniť 700 miliárd libier na záchranu Wall Streetu a...

500 miliárd libier: Britská vláda sľúbila na záchranu bánk 500 miliárd libier [odhady nákladov na záchranu bánk sa líšia, ale stále rastú - pozn. prekl.].

### Zbrojný priemysel

5 miliárd libier ročne: vývoz zbraní z Veľkej Británie (83 libier za rok na osobu vo Veľkej Británii), z ktorých 2,5 miliardy libier ide na Blízky východ a 1 miliarda do Saudskej Arábie. Zdroj: Observer, 3. december, 2006.

8,5 miliardy libier: náklady prestavby armádnych kasární v Aldershote a Salisbury Plain (140 libier na osobu vo Veľkej Británii).

3,8 miliardy libier: náklady na dve nové lietadlové lode (63 libier za rok na osobu vo Veľkej Británii). [news.bbc.co.uk/1/low/scotland/6914788.stm](http://news.bbc.co.uk/1/low/scotland/6914788.stm).

4,5 miliardy dolárov za rok: náklady na nevyrábanie jadrových zbraní – americké ministerstvo energetiky uvoľňuje z rozpočtu najmenej 4,5 miliardy dolárov ročne pre aktivity „strážcov arzenálu“, aby udržali jadrový arzenál bez ďalšej výroby nových zbraní (15 dolárov za rok na osobu v Spojených štátoch amerických).

10 - 25 miliárd libier: náklady za nahradenie Tridentu, Britského jadrového zbraňového systému (170-420 libier na osobu vo Veľkej Británii) [ysncks].

63 miliárd dolárov: americká „vojenská pomoc“ (t. j. zbrane) na Blízky východ v priebehu 10 rokov – zhruba polovica do Izraela, polovica do arabských štátov. [2vq59t] (210 dolárov na osobu v USA).

1 200 miliárd dolárov za rok: svetové výdavky na zbrojenie [ym46a9]. (200 dolárov na osobu na svete).

2 000 miliárd dolárov alebo viac: náklady USA [99bpt] na vojnu v Iraku podľa nositeľa Nobelovej ceny ekonóma Josepha Stiglitzu. (7 000 dolárov na osobu v Spojených štátoch amerických).

Podľa Sternej správy, globálne náklady na odvrátenie klimatickej zmeny (ak budeme konať teraz) sú 440 miliárd dolárov každý rok (440 dolárov ročne na osobu, po rozdelení medzi 1 miliardu najbohatších ľudí). V roku 2005 iba vláda USA minula na vojny alebo ich prípravu 480 miliárd dolárov. Celkové vojenské výdavky 15 krajín s najväčším rozpočtom predstavujú 840 miliárd dolárov.

*Výdavky, ktoré **nestoja** miliardy*

0,0012 miliardy libier za rok: najmenšiu položku na obrázku 28.5 predstavujú investície britskej vlády do výskumu a vývoja obnoviteľných zdrojov energie (0,20 libier na osobu vo Veľkej Británii za rok).

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

215 *Obrázok 28.2* Predpokladal som, že solárne fotovoltaické elektrárne majú výkon na plochu 5 W/m<sup>2</sup>, ktorý je rovnaký ako Bavorský park na strane 41, takže každá elektráreň na mape má priemerný inštalovaný výkon 100 MW. Ich celkový priemerný výkon by bol 5 GW, čo vyžaduje zhruba 50 GW inštalovaného špičkového (peak) výkonu (to je 16-krát väčšia kapacita, ako malo Nemecko v roku 2006).

Žlté šesťuholníky predstavujú koncentračné slnečné elektrárne, z ktorých každá má priemerný výkon 5 GW. Na pohon jedného z „krúžkov“ v kapitole 25 sú potrebné dva šesťuholníky.

- *Vládna správa, o ktorej informoval Guardian...* Podľa správy Guardianu, 13. augusta 2007 [2bmuod] „Vládni predstavitelia tajne informovali ministrov, že Veľká Británia nemá nádej ani zďaleka splniť nové ciele Európskej únie o obnoviteľnej energii, ktoré podpísal Tony Blair na jar – a predpokladal, že sa podarí nájsť spôsob, ako sa z toho vykrútiť.“ Dokument možno nájsť na [3g8nn8].

219 *...parfum...* Zdroj: Worldwatch Institute  
[www.worldwatch.org/press/news/2004/01/07/](http://www.worldwatch.org/press/news/2004/01/07/)

221 *...na vojny alebo ich prípravu...* [www.conscienceonline.org.uk](http://www.conscienceonline.org.uk)

- *Vládne investície do výskumu a vývoja obnoviteľných zdrojov energie.* V roku 2002-3 sa britská vláda zaviazala financovať výskum a vývoj obnoviteľných zdrojov energie vo výške 12,2 milióna libier. Zdroj: Výbor Snemovne Lordov pre vedu a technológiu, 4. správa zasadnutia 2003-04. [3jo7q2]. Porovnateľne malé sú aj prostriedky vlády pre Program nízkoúhlíkových budov. Suma 0,018 mld. libier/rok sa delí medzi využitie vetra, biomasy, solárnej energie na prípravu teplej vody, fotovoltaiky, tepelných čerpadiel využívajúcich teplo zeme, malých vodných elektrární a mikro-KVET.

## 29 Čo robiť teraz

*Ak nebudeme konať teraz, nie v budúcnosti, ale teraz, tak dopady zmien, akokoľvek zničujúce, budú nezvratné. Takže neexistuje nič dôležitejšie, naliehavejšie a žiaducejšie, čo by vyžadovalo vlastný príklad.*

Tony Blair, 30. október 2006

*... je to trochu nepraktické...*

Tony Blair, o dva mesiace neskôr,  
pri odpovedi na poznámku, že on sám by mal ísť  
príkladom a nelietat' na dovolenku na Barbados.

Čo by sme mali robiť, čiastočne závisí od našej motivácie. Spomeňme si, že na strane 5 sme rozoberali tri motivácie pre nepoužívanie fosílnych palív: koniec lacnej ropy, energetickú bezpečnosť a klimatickú zmenu. Predpokladajme, že nás motivuje klimatická zmena – že chceme radikálne znížiť emisie CO<sub>2</sub>. (Kto neverí na klimatickú zmenu, môže túto časť preskočiť a pridať sa k zvyšku na strane 223.)

### Čo robiť so znečistením emisiami CO<sub>2</sub>

Nesmerujeme k budúcnosti s nulovými emisiami CO<sub>2</sub>. Dlhodobé investície sa nekonajú. Firmy zachytávajúce CO<sub>2</sub> neprosperujú, aj napriek radám klimatológov a ekonómov, že na to, aby sme sa vyhlí nebezpečnej klimatickej zmene, bude s najväčšou pravdepodobnosťou nutné CO<sub>2</sub> z atmosféry odčerpať. Ten dokonca nezachytáva ani žiadna uhoľná elektrárňa (okrem jedného malého prototypu v Nemecku). Prečo nie?

Hlavným problémom je, že emisie CO<sub>2</sub> nie sú vhodne spoplatnené. A nič nezaručuje, že sa tak stane v budúcnosti. Keď hovorím „vhodne“, mám na mysli to, že cena vypúšťania oxidu uhličitého by mala byť taká, aby každá uhoľná elektrárňa mala zariadenie na jeho zachytávanie.

Riešenie klimatickej zmeny je komplexný problém. Tu je jednoduchý návrh, ako na to. Cena oxidu uhličitého musí byť taká, aby ľudia *prestali spaľovať uhlie bez zachytávania emisií*. Toto pravidlo skrýva veľkú časť riešenia, pretože z dlhodobého hľadiska je uhlie najvýznamnejšie (znižovanie emisií z ropy a plynu je druhoradé, pretože ťažba oboch zdrojov by mala nasledujúcich 50 rokov klesať).

Čo musia urobiť politici? Zabezpečiť, aby všetky uhoľné elektrárne dokázali zachytiť CO<sub>2</sub>. Prvý krok pre dosiahnutie tohto cieľa je vládou podporované financovanie rozsiahlych demonštračných projektov, ktoré by určili najlepšie spôsoby zachytávania CO<sub>2</sub>. V druhom kroku musia politici zmeniť dlhodobé predpisy pre elektrárne tak, aby tá najlepšia technológia bola zavedená do všetkých elektrární. Moja rada pre uskutočnenie druhého kroku je schváliť zákon, podľa ktorého *musia od určitého dátumu všetky uhoľné elektrárne zachytávať CO<sub>2</sub>*.

Zdá sa však, že väčšina demokratických politikov sa domnieva, že najlepší spôsob, ako zavrieť dvere, je vytvorenie takých podmienok na trhu, ktoré nechajú dvere otvorené. Takže, ak prijmeme dogmu, že problém klimatickej zmeny vyrieši trhový mechanizmus, ako dosiahneme náš cieľ – aby všetky uhoľné elektrárne zachytávali CO<sub>2</sub>? Môžeme skúsiť obchodovať s emisiami; povolenkami vypúšťať emisie CO<sub>2</sub>, kde jednu tonu zachyteného CO<sub>2</sub> možno vymeniť za povolenku na vypustenie jednej tony CO<sub>2</sub>. Majitelia uhoľných elektrární však budú investovať do technológie na zachytávanie CO<sub>2</sub> iba v prípade, ak budú mať istotu, že jeho cena bude dostatočne dlho vysoká a zariadenia na zachytávanie CO<sub>2</sub> sa vyplatia. Podľa expertov je dlhodobá cena, ktorá toto zabezpečí, približne na úrovni 100 dolárov za tonu CO<sub>2</sub>.

Politici sa potrebujú dohodnúť na dlhodobom znížení emisií CO<sub>2</sub>. Na tom, ktoré by presvedčilo investorov, že cena emisií trvalo vzrastie najmenej na hodnotu 100 dolárov za tonu CO<sub>2</sub>. Druhá možnosť je vydávanie emisných povoleniek s minimálnou pevnou cenou v aukciách. Ďalším spôsobom by mohlo byť, že by sa vláda zaručila za investície do technológie zachytávania CO<sub>2</sub>, t. j. zaviazala by sa odkúpiť certifikáty o zachytení CO<sub>2</sub> za 100 dolárov na jednu tonu zachyteného CO<sub>2</sub>, bez ohľadu na vývoj ceny emisných povoleniek na trhu.

Stále rozmýšľam, či by nebolo lepšie zatvoriť dvere hneď, ako nechať všetko na voľný trh, ktorý iba uvažuje o ich zatvorení.

*Energetická politika Veľkej Británie nedáva zmysel. Neprinesie bezpečnosť. Nepomôže zrealizovať naše sľuby týkajúce sa klimatickej zmeny. Nereflektuje potreby najchudobnejších krajín sveta.*

Lord Patten z Barnes, predseda výkonného výboru pre energetiku a klimatickú zmenu Oxfordskej univerzity,  
4. jún 2007

## Čo robiť so zásobovaním energiou

Rozšírme naše druhy motivácie a predpokladajme, že chceme prestať využívať fosílna palivá, aby sme zabezpečili bezpečné dodávky energie.

Čo by sme mali robiť, aby sme zaviedli rozvoj nefosílného energetického zásobovania, a aby sme prijali opatrenia na zvyšovanie energetickej účinnosti? Jeden z prístupov je: „Nechajme to na voľný trh. Zdražovanie fosílnych palív zvýhodní obnoviteľné a jadrové zdroje energie a racionálny spotrebiteľ uprednostní účinné technológie.“ Zdá sa mi čudné, že ľudia veria voľnému trhu, keď nás trhy pravidelne vystavujú rozmachom a úpadkom, úverovým krízam a kolapsom bánk. Voľné trhy predstavujú dobrý spôsob na uskutočňovanie krátkodobých rozhodnutí – investícií, ktoré sa vrátia v priebehu približne 10 rokov. Môžeme však očakávať, že budú robiť dobré rozhodnutia týkajúce sa energetiky, ktorých dosahy môžu trvať mnoho desaťročí alebo storočí?

Ak necháme stavbu domov na voľný trh, zostanú nám domy, ktoré sú iba slabo tepelne izolované. Moderné domy sú oveľa viac energeticky úsporné iba vďaka legislatíve.



Obrázok 29.1 Koľko dobra to spôsobilo! Cena za jednu tonu CO<sub>2</sub> v eurách počas prvého obchodovacieho obdobia Európskej schémy obchodovania s emisiami. Zdroj: [www.eex.com](http://www.eex.com).

Obrázok 29.2 Aká by musela byť cena CO<sub>2</sub>, aby primäla spoločnosť vykonať významné zmeny v znečisťovaní týmto plynom?

Diagram ukazuje cenu oxidu uhličitého (za tonu), pri ktorej sa určité investície stanú ekonomické, alebo dôjde k výraznému vplyvu na určitý druh správania. Predpokladom je, aby zvýšená cena CO<sub>2</sub> zdvojnásobila cenu aktivít spojených s daným správaním, ako je napr. používanie auta alebo lietadla.

Ak sa zvýši cena o 20 - 70 dolárov za tonu, CO<sub>2</sub> by bolo dostatočne drahé na to, aby sa zaviedla technológia na zachytávanie v starých aj nových uhoľných elektrárnach.

Cena 110 dolárov za tonu by premenila rozsiahle projekty výroby elektriny z obnoviteľných zdrojov, ktoré dnes stoja o 3 pence za kWh viac ako výroba elektriny zo zemného plynu, z nerealistických na finančne zmysuplné. Napríklad, navrhovaná priehrada Severn by vyrábala prílivovú energiu za cenu 6 penci za kWh, čo je o 3,3 pence viac ako bežná cena 2,7 pence za kWh. Ak by každých 1 000 kWh z priehrady znížilo znečistenie CO<sub>2</sub> o jednu tonu pri cene 60 libier za tonu, priehrada Severn by sa viac ako uživila.

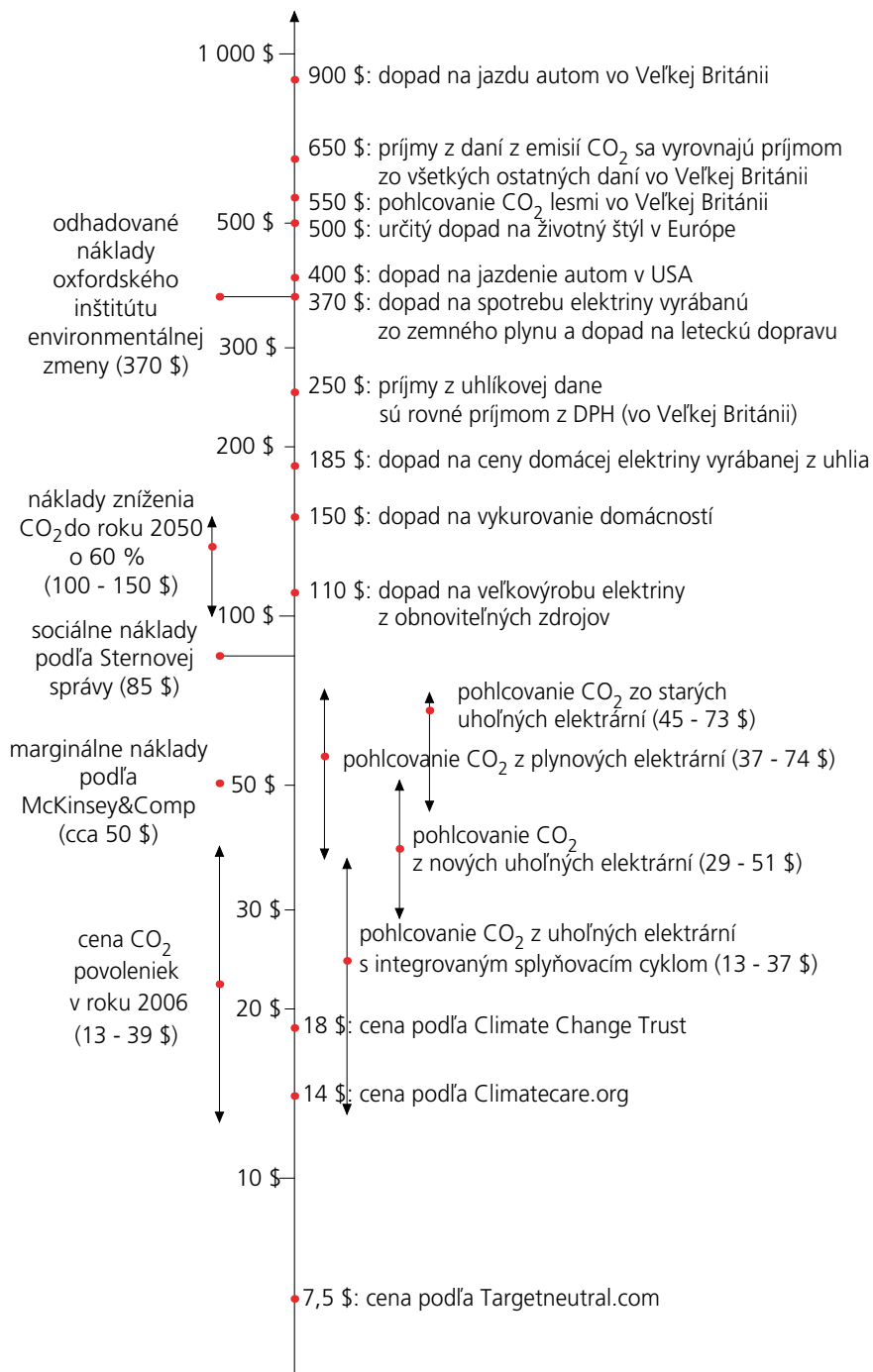
Pri cene 150 dolárov za tonu by domáci spotrebiteľia zemného plynu pocítili cenu CO<sub>2</sub> na svojich účtoch za vykurovanie.

Pri cene 250 dolárov za tonu by vzrástla cena barelu ropy o 100 dolárov.

Pri cene 370 dolárov by znečistenie CO<sub>2</sub> bolo dostatočné na to, aby sa znížilo používanie lietadiel.

Pri cene 500 dolárov za tonu by priemerní Európania, ktorí dovtedy nezmenili svoj životný štýl, mohli minúť 12 % svojich príjmov na zvýšenú cenu jazdenia autami, lietania a vykurovania domov zemným plynom.

A pri cene 900 dolárov za tonu by sa cena CO<sub>2</sub> veľmi citelne prejavila pri jazdení autom.





Voľné trhy nie sú zodpovedné za stavbu ciest, železníc, pruhov vyhradených pre autobusy, parkovísk pre autá alebo cyklotrás. Stavba ciest a poplatky za parkovanie a bicyklovanie však majú významný vplyv na rozhodovanie ľudí o spôsobe dopravy. Podobne ako legislatíva v oblasti plánovania, ktorá rozhoduje o tom, *kde* je možné postaviť domy a pracoviská a *ako nahusto* v krajine budú tieto domy stáť, majú rozhodujúci vplyv na to, aké druhy dopravy si budú ľudia voliť. Ak postavíme nové mesto bez železničnej stanice, nie je veľmi pravdepodobné, že by ľudia tohto mesta cestovali na dlhšie vzdialenosti vlakom. Ak sú domy a príslušné pracoviská vzdialené od seba viac ako niekoľko kilometrov, mnoho ľudí bude mať pocit, že jediný spôsob, ako sa dopraviť do práce, je pomocou auta.

Jeden z najväčších požieračov energie je výroba rozličných predmetov. V prípade voľného trhu nás mnoho výrobcov zásobuje výrobkami, ktoré majú úmyselne krátku trvanlivosť. Takými, ktoré je nutné zahodiť a nahradiť. Týmto spôsobom si výrobcovia zabezpečujú predaj ďalších výrobkov.

Hoci voľné trhy nepochybne zohrávajú svoju úlohu, je hlúpe tvrdiť, „nehajme všetko na voľný trh“. Nepochybne sa potrebujeme baviť o legislatíve, reguláciách a daniach.

### *Zelený daňový systém*

*Potrebujeme zmeniť naše poplatky a daňový systém od základov. Cieľom je väčšie zdanenie znečistenia – hlavne fosílnych palív - a menšie zdanenie práce.*

Nicolas Sarkozy, francúzsky prezident

V súčasnosti je oveľa výhodnejšie kúpiť si novú mikrovlnnú rúru, DVD prehrávač alebo vysávač, ako ich dať opraviť. To je bláznivé.

Toto bláznovstvo je čiastočne spôsobené našim daňovým systémom, ktorý zdaňuje prácu opravára mikrovlnných rúr a zahľucuje ho časovo náročným vypisovaním papierov. Robí *dobrú* vec, opravuje moju mikrovlnnú rúru! – ale daňový systém mu sťažuje jeho podnikanie.

Myšlienkou „zeleného daňového systému“ je presunutie daní z dobrých vecí, ako je práca, na zlé veci, ako je poškodzovanie životného prostredia. Zástancovia ekologickej dane predpokladajú zníženie daní na dobré veci o rovnaké zvýšenie daní na zlé veci, takže takáto daňová reforma by bola ziskovo neutrálna.

### *Uhlíková daň*

Ak chceme presadzovať nízkouhlíkové technológie, najdôležitejšie je zvýšiť daň, ktorá zvýši cenu CO<sub>2</sub>. Cena CO<sub>2</sub> musí byť dostatočne vysoká, aby podporila investície do alternatív k fosílnym palivám a investície do úspor. Všimnite si, že toto je presne rovnaký prístup ako v predchádzajúcej časti.

Či už je vašou motiváciou riešenie klimatickej zmeny alebo energetickej bezpečnosť, návrh opatrení je rovnaký. Potrebujeme stabilnú a dostatočne vysokú cenu CO<sub>2</sub>. Obrázok 29.2 naznačuje veľmi hrubo rôzne ceny CO<sub>2</sub>, ktoré sú potrebné na zmenu v správaní a investíciách; a oveľa nižšie ceny stanovené organizáciami, ktoré tvrdia, že „neutralizujú“ emisie skleníkových plynov. Ako najlepšie zaviesť vysokú cenu CO<sub>2</sub>? Je správnou cestou Európska schéma obchodovania s emisiami (obr. 29.1)? Táto otázka je doménou ekonómov a expertov na medzinárodnú politiku. Názor ekonómov z Cambridgea Michaela Grubba a Davida Newberyho je, že Európska schéma obchodovania s emisiami nie je vhodná, pretože „súčasný nástroj nezabezpečia dostatočnú investičnú motiváciu“.

Časopis *The Economist* odporúča uhlíkovú daň na podporu čistých zdrojov energie ako primárny mechanizmus. Zoskupenie Quality of Life Policy Group Konzervatívnej strany takisto navrhuje zvýšiť ekologické dane a znížiť iné dane – „posun od *platiť, ak zarábaš*, k *platiť, ak spaľuješ*“. Kráľovská komisia pre environmentálne znečistenie (The Royal Commission on Environmental Pollution) hovorí, že Veľká Británia by mala zaviesť daň z emisií CO<sub>2</sub>: „Mala by smerovať k zdrojom a pokrývať všetky sektory.“

Jasná podpora pre vysokú uhlíkovú daň existuje súčasne so znížením daní zo zamestnania, daní zo zisku spoločnosti a daní z pridanej hodnoty. Ale samotné dane a trhy neprinesú všetky požadované zmeny. Tento prístup pomocou daní a trhov zlyháva, ak sa spotrebiteľia niekedy správajú iracionálne, ak uprednostňujú krátkodobú hotovosť pred dlhodobými úsporami, alebo ak nakupujúci človek neplatí všetky náklady spojené s daným tovarom.

Naozaj, veľa obchodných značiek je „uspokojujúco drahých“. Spotrebiteľia si však tovar nevyberajú iba podľa jeho ceny. Mnohí dbajú viac na imidž a vnem okolia a niektorí kupujú drahé veci zámerne.

Keď sa už zbytočná vec kúpi, je neskoro. Je nevyhnutné, aby sa zbytočné veci nevyrábali vôbec; alebo ak už, tak by pri ich kúpe mal mať spotrebiteľ takú motiváciu, aby ich vôbec nekúpil.

Uvedieme si niekoľko ďalších príkladov zlyhania trhu.

### *Prekážka pri vstupe*

Predstavte si, že daň z emisií CO<sub>2</sub> je dostatočne vysoká na to, aby nové hypermoderné eko-zariadenie s nízkou uhlíkovou stopou stálo o 5 % menej ako jeho dlhodobý protivník s vysokou uhlíkovou stopou dino-zariadenie, ak by sa vyrábalo masovo v rovnakých množstvách. Vďaka šikovnej technológii sú uhlíkové emisie eko-zariadenia nižšie o neuveriteľných 90 % ako emisie dino-zariadenia. Je jasné, že pre spoločnosť by bolo dobré, ak by dnes každý nakupoval eko-zariadenia. Ale v súčasnosti je predaj eko-zariadení nízky, takže ekonomické náklady na výrobu sú vyššie ako pri dino-zariadeniach. Iba zopár eko-bojovníkov a bielych plášťov kúpi eko-zariadenia a Eko-zariadenia, s. r. o., je z hry von.

Možno sú potrebné zásahy vlády, aby urýchlili takúto zmenu a dali šancu inováciám. Možno podpora pre výskum a vývoj? Či daňové stimulačné uprednostňujúce nové výrobky (tak ako daňové stimulačné, ktoré urýchlili prechod z olovnatého na bezolovnatý benzín)?

### *Problém malých rozdielov nákladov*

Predstavte si, ako sa firma Eko-zariadenia, s. r. o., vyvíja zo žubrienky na žabu, a že daň z emisií CO<sub>2</sub> je dostatočne vysoká na to, aby eko-zariadenia naozaj stáli o 5 % menej ako jej odveký rival od firmy Dino-zariadenia, s. r. o. Daň z emisií CO<sub>2</sub> určite prispeje k tomuto úspechu. Budú preto všetci spotrebiteľia nakupovať zariadenia s nízkou uhlíkovou stopou? Cha! Po prvé, mnoho spotrebiteľov 5% rozdiel v cene príliš nerozlišuje. Rozhodujúci je imidž. Po druhé, ak sa spotrebiteľia cítia eko-zariadeniami ohrození, Dino-zariadenia, s. r. o., znovu rozbehnú svoju výrobu a zdôraznia, že sú vlasteneckejší a zároveň aj ekologickejší a ukážu známe osobnosti so starými dobrými dino-zariadeniami. „Skutoční muži kupujú dino-zariadenia.“ Ak to nezaberie, Dino-zariadenia, s. r. o., uverejnia tlačové správy, podľa ktorých vedci nevyhlásili možnosť, že dlhodobé používanie eko-zariadení môže spôsobiť rakovinu, poukazujúc na prípad starej pani zavalenej eko-zariadeniami, alebo že eko-zariadenia škodia menej nápadným netopierom. Strach, neistota, pochybnosti. Ako plán B by spoločnosť Dino-zariadenia mohla kúpiť spoločnosť vyrábajúca eko zariadenia. Víťazný výrobok by nemal nič spoločné s úsporami energie, ak je rozdiel v cene iba 5 %.

Ako vyriešiť tento problém? Možno, že vlády by jednoducho mali zakázať predaj dino-zariadení (tak ako je zakázaný predaj olovnatého benzínu)?

### *Problém Larryho a Tiny*

Predstavte si, že správca Larry prenajme byt podnájomníčke Tine. Larry je zodpovedný za údržbu bytu a za jeho vybavenie spotrebičmi. Tina platí mesačné účty za teplo a elektrinu. A tu je problém: Larry nemá motiváciu investovať do úsporných spotrebičov, ktoré znížia účty pre Tinu. Mohol by inštalovať úspornejšie svetlá a ekonomickejšiu chladničku. Tieto ekologické výrobky by s prehľadom splatili zvýšené náklady v priebehu svojho dlhého života. Ale je to Tina, ktorá z toho profituje, nie Larry. Podobne Larry nemá vysokú motiváciu, aby lepšie zateplil byt, alebo nechal namontovať dvojité okná, najmä ak riskuje, že Wayne, priateľ Tiny, môže tieto okná rozbiť kameňom, keď sa opije. Teoreticky, v prípade fungovania dokonalého trhu, by Larry a Tina robili tie „správne“ rozhodnutia. Larry by zaviedol všetky energeticky úsporné opatrenia a mierne by zvýšil nájom. Tina by si uvedomila, že moderný a dobre vybavený byt by bol pre život napokon lacnejší a rada by preto zaplatila vyššie nájomné. Larry by vyžadoval zvýšené poplatky v prípade poškodenia nových drahých okien; a Tina by reagovala racionálne a Waynevi by zakázala vstup do bytu.

Na druhej strane si nemyslím, že Tina a Larry by niekedy mohli predstavovať dokonalý trh. Tina je chudobná a má problémy s platením vysokých záloh. Larry si veľmi želá mať za byt pekné nájomné, takže Tina neverí jeho ubezpečeniam o pravdivosti nízkych účtov za energiu a podozrieva Larryho zo zveličovania.

Preto treba Larrymu a Tine pomôcť, aby mohli urobiť tie správne rozhodnutia. Napríklad vláda by mohla uzákoníť vysoké dane na málo účinné zariadenia; zakázať predávanie všetkých chladničiek, ktoré nespĺňajú ekonomické štandardy; mohla by požadovať vysoké štandardy na zateplenie budov alebo zaviesť systém povinného a nezávislého hodnotenia bytov. Tina by si tak mohla prečítať energetické hodnotenie bytu pred jeho prenajatím.

### Investície do výskumu a vývoja

*Protestujeme proti tomu, že vláda vyčlenila iba minimálne množstvo prostriedkov na výskum a vývoj v oblasti obnoviteľných zdrojov energie (12,2 milióna libier v r. 2002 - 2003)... Ak máme využívať vo Veľkej Británii iný zdroj energie ako vietor, musí sa to zmeniť. Nemôžeme sa vyhnúť záveru, že vláda neberie energetické problémy dostatočne vážne.*

Výbor pre vedu a technológiu Snemovne lordov

*Nedostatok vedeckého pochopenia často vedie k povrchným rozhodnutiam. Názornou ukážkou toho bola Biela kniha o energetike<sup>2</sup> z roku 2003. Nenazýval by som ho verejne amatérskym, ale neriešil problém žiadnym realistickým spôsobom.*

Sir David King, bývalý hlavný vedecký poradca

*Pracovať pre vládny Poradenský výbor pre obnoviteľné zdroje... bolo ako sledovať niekoľko tuctov epizód televíznej komédie Áno, pán minister v spomalenom filme. Nemyslím si, že by táto vláda mala niekedy serióznym záujem o obnoviteľné zdroje.*

Jeremy Leggett, zakladateľ Solarcentury

Myslím, že čísla hovoria za všetko. Len sa pozrite na obrázok 28.5 (str. 218) a porovnajte miliardy spotrebované na obnovu kancelárií a vojenské hračky so stonásobne menšími výdavkami na výskum a vývoj spojený s obnoviteľnými zdrojmi energie. Trvá desaťročia, kým sa vyvinú technológie na využívanie obnoviteľných zdrojov, ako napríklad elektrárne využívajúce prúdenie mora, koncentračné solárne elektrárne a fotovoltaické elektrárne. Jadrová fúzia zaberie takisto desaťročia. Všetky tieto technológie potrebujú prednostnú podporu, aby dokázali uspieť.

<sup>2</sup>Ide o dokument Energy white paper: our energy future – creating a low carbon economy, 2003. Zdroj: www.tso.co.uk – pozn. prekl.

## Čo môže urobiť jednotlivec

Niekedy sa ma ľudia pýtajú: „Čo by som mal urobiť ja?“ Tabuľka 29.3 ukazuje osem jednoduchých individuálnych činností, ktoré by som odporúčal a veľmi hrubé odhady úspor dosiahnutých týmito činnosťami, pri splnení daných podmienok. Vaše úspory budú závisieť od vášho štartovacieho miesta. Čísla v tabuľke 29.3 predpokladajú štartovacie miesto nadpriemerného konzumenta.

Jednoduchá aktivita	Možné úspory
Oblečte si vlnený sveter a znížte svoj termostat (na 15 či 17 °C). Dajte si termostatické ventily na všetky vykurovacie telesá. Zaisťte, že sú vypnuté, ak v byte nikto nie je. V práci robte to isté.	20 kWh/d
Každý týždeň sledujte všetky merače (plynu, elektriny, vody) a každý týždeň a hľadajte jednoduché spôsoby, ako znížiť spotrebu (napríklad vypínaním spotrebičov). Porovnajte výsledky s priateľmi. Sledujte odber energie aj v práci a robte tak neustály energetický audit.	4 kWh/d
Prestaňte lietať.	35 kWh/d
Jazdite menej, pomalšie, plynulejšie, s viacerými ľuďmi. Používajte elektromobil, pridajte sa do automobilového klubu (car club) a zdieľajte autá s inými, bicyklujte, choďte častejšie peši, cestujte vlakom a autobusom.	20 kWh/d
Používajte staré zariadenia (napr. počítače); nevymieňajte ich príliš skoro.	4 kWh/d
Vymeňte svetlá za úsporné žiarivky alebo LED-ky.	4 kWh/d
Nekupujte zbytočnosti. Vyhnite sa baleniu.	20 kWh/d
Jedzte vegetariánske jedlá šesť dní v týždni.	10 kWh/d

Tabuľka 29.3 Osem jednoduchých osobných aktivít.

Zatiaľ čo tieto aktivity môžete jednoducho uskutočniť, aktivity v tabuľke 29.4 vyžadujú o niečo viac plánovania, odhodlania a peňazí.

Tabuľka 29.4 Sedem náročnejších aktivít.

Náročnejšie aktivity	Možné úspory
Zabráňte únikom teplého vzduchu.	5 kWh/d
Namontujte okná s dvojsklami.	10 kWh/d
Zateplite steny, strechu a podlahu.	10 kWh/d
Obstarajte si slnečné kolektory.	8 kWh/d
Využívajte fotovoltické panely.	5 kWh/d
Zbúrajte staré budovy a postavte nové.	35 kWh/d
Vykurovanie fosílnymi palivami nahraďte tepelným čerpadlom využívajúcim teplo vzduchu alebo zeme.	10 kWh/d

A nakoniec tabuľka 29.5 ukazuje pár aktivít, ktoré vám prinesú menšie úspory.

Tabuľka 29.5 Niekoľko činností s menšími úsporami.

Aktivita	Možné úspory
Perte bielizeň v studenej vode.	0,5 kWh/d
Prestaňte používať sušičku; bielizeň vešajte na šnúru alebo sušiak.	0,5 kWh/d

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

**222** „...je to trochu nepraktické“ Celý prepis rozhovoru s Tonym Blairom (z 9. januára 2007) je tu [2ykfgw]. Ponúkam ešte niekoľko úryvkov z neho:

**Novinár:** Rozmýšľali ste niekedy, že by ste neleteli na dovolenku na Barbados, aby ste ušetrili preletenú vzdialenosť?

**Tony Blair:** Úprimne, zdráhal by som sa vzdať svojej zahraničnej dovolenky.

**Novinár:** To by ale vyslalo jasný signál, ak by sme pred sebou nemali vidinu tejto úžasnej veľkej leteckej cesty za slnkom? ... – A čo tak dovolenka bližšie k domu?

**Tony Blair:** Áno – ale osobne sa domnievam, že je trochu nepraktické očakávať od ľudí, aby robili takéto veci. Myslím, že to čo potrebujeme, je najsť spôsob, ako cestovať energeticky efektívnejšie. Potrebujeme palivá, ktoré nám umožnia spáliť menej energie a vyprodukujú menej emisií. Napríklad, nové návrhy lietadiel, ktoré sú oveľa menej energeticky náročné.

Viem, že si ľudia pravdepodobne myslia, že premiér by nemal vôbec chodiť na dovolenku. Myslím však, že ak stanovíme nereálne ciele a povieme ľuďom, že zrušíme možnosť lacného cestovania lietadlom... viete, stále čakám na toho prvého politika, ktorý má záujem o miesto v úrade, a ktorý keď nastúpi, povie to ľuďom – ale takí tu nie sú.

Iná citácia: „Ak nebudeme konať teraz, nie v nejakej vzdialenej budúcnosti, ale teraz, tak dopady zmien, akokoľvek zničujúce, budú nezvratné. Takže neexistuje nič dôležitejšie, nič najliehavejšie, alebo nič, čo by väčšmi vyžadovalo vlastný príklad,“ povedal Tony Blair v príhovore ku Sternej správe, 30. októbra 2006 [2nsvx2]. Pozri aj [yxq5xk] pre ďalší komentár.

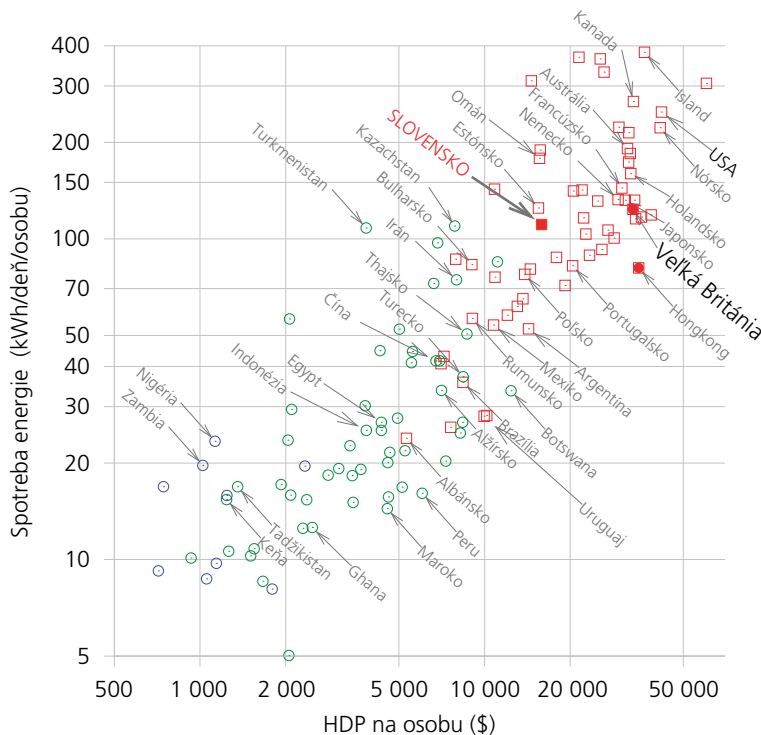
**225** *Environmentálna daňová reforma*. Pozri Green Fiscal Commission, [www.greenfiscalcommission.org.uk](http://www.greenfiscalcommission.org.uk).

**226** *Časopis The Economist odporúča daň z emisií CO<sub>2</sub>*. „Nový vek jadrovej energie,“ *The Economist*, 8. september 2007.

- *Zoskupenie Quality of Life Policy Group Konzervatívnej strany* – Gummer a kol. (2007).

## 30 Energetické plány pre Európu, Ameriku a svet

Obrázok 30.1 znázorňuje celkovú spotrebu energie mnohých krajín a regiónov v závislosti od ich hrubého domáceho produktu (HDP). Všeobecne sa rozvoj ľudstva a rast vníma pozitívne. Preto pri tvorení plánov získavania trvalo udržateľnej energie budem predpokladať, že krajiny s nízkym HDP na obyvateľa budú postupovať v grafe na obrázku 30.1 doprava. Nárast HDP týchto krajín bude prirodzene spojený aj s rastom spotreby energie. Nie je jasné s akou úrovňou spotreby by sme mali počítať, ale myslím, že priemerná spotreba Európy (125 kWh za deň na osobu) sa zdá byť rozumný predpoklad. Môžeme tiež predpokladať, že opatrenia na zvýšenie energetickej účinnosti, podobné ako sme načrtli v modeli Veľkej Británie v kapitolách 19 – 28, umožnia všetkým krajinám dosiahnuť životnú úroveň Európy aj pri nižšej spotrebe energie. V návrhu spotreby energie na strane 204 klesla spotreba Veľkej Británie na približne **68 kWh/d.o.** Tento model však ráta s nízkou priemyselnou aktivitou, preto by bolo pravdepodobne rozumnejšie počítať s o niečo vyššou hodnotou, akú má napríklad Hongkong, t. j. **80 kWh/d.o.**



Obrázok 30.1 Spotreba energie na osobu vo vzťahu k HDP na osobu, v parite kúpnej sily amerických dolárov. Údaje sú zo Spávy ľudského rozvoja UNDP, 2007. Štvorce zobrazujú krajiny s „vysokým indexom ľudského rozvoja“; krúžky zobrazujú krajiny so „stredným“ alebo „nízkym“ indexom. Obidve premenné sú na logaritmickej škále. Obrázok 18.4 ukazuje tie isté údaje na normálnej škále.

## Prehodnotenie výpočtov pre Európu

Dokáže Európa žiť z obnoviteľných zdrojov energie?

Priemerná hustota obyvateľstva Európy dosahuje zhruba polovicu tej vo Veľkej Británii. Preto poskytuje viac priestoru pre rozsiahle zariadenia obnoviteľných zdrojov. Rozloha EÚ je približne **9 000 m<sup>2</sup> na osobu**. Ale mnohé obnoviteľné zdroje v Európe majú nižšiu hustotu výkonu ako vo Veľkej Británii, pretože väčšina Európy má menej energie z vetra, vln, prílivov a odlivov. Niektoré oblasti majú viac energie z vody (Škandinávia a stredná Európa); a niektoré zo Slnka. Poďme si to overiť na približných číslach.

### Vietor

Priemerná rýchlosť vetra v srdci kontinentálnej Európy je v priemere nižšia ako na Britských ostrovoch. Napríklad väčšina Talianska má priemernú rýchlosť vetra pod 4 m/s. Predpokladajme, že pätina Európy má oblasti s vetrom postačujúcim pre ekonomicky využiteľné veterné parky s koncentráciou výkonu 2 W/m<sup>2</sup> a tiež uvažujme s postupom ako v prípade Veľkej Británie v kapitole 4, t. j. 10 % z nich pokryjeme veternými parkami. V EÚ je to spomínaných v priemere 9 000 m<sup>2</sup> na osobu. To znamená:

$$\frac{1}{5} \cdot 10\% \cdot 9\,000 \text{ m}^2 \cdot 2 \text{ W/m}^2 = 360 \text{ W},$$

čo predstavuje **9 kWh/d na osobu**.

### Energia vody

Celkovo získava Európa z vody 590 TWh/r elektriny, alebo 67 GW. Po rozdelení medzi 500 miliónov to je 3,2 kWh/d na osobu. Dominuje najmä Nórsko, Francúzsko, Švédsko, Taliansko, Rakúsko a Švajčiarsko. Ak by každá krajina zdvojnásobila množstvo svojho výkonu – čo by podľa mňa bolo veľmi náročné – získavali by sme z vody **6,4 kWh/d na osobu**.

### Morské vlny

Zoberme do úvahy celú dĺžku atlantického pobrežia (asi 4 000 km) a vynásobme ho priemerným merným výkonom 10 kW/m. Dostaneme **2 kWh/d na osobu**. Baltické a Stredozemné pobrežie nemajú vhodné zdroje energie vln.

### Príliv a odliv

Zdvojnásobením odhadu celkovej výroby z tohto zdroja (11 kWh za deň na osobu z kapitoly 14) pridáme aj francúzske, írské a nórske prílivové zdroje a rozdelením medzi 500 miliónov obyvateľov tak získame **2,6 kWh/d**



na osobu. Opäť sme do úvahy nebrali pobrežia Baltického a Stredozemného mora, kde sa príliv a odliv prejavuje minimálne.

#### Fotovoltaické panely a solárne tepelné kolektory na strechách

V porovnaní s Veľkou Britániou je väčšina oblastí kontinentálnej Európy viac slnečná. Solárne panely by tu teda dodávali viac výkonu. 10 m<sup>2</sup> strešných FV článkov južne od Veľkej Británie by dodávalo priemerne okolo 7 kWh/d. Podobne, 2 m<sup>2</sup> tepelných kolektorov na ohrev vody by dodávalo 3,6 kWh/d tepla. (Nevidím veľký zmysel uvažovať s viac ako 2 m<sup>2</sup> kolektorov na osobu, pretože táto plocha by mala stačiť na uspokojenie priemernej potreby jedného človeka na teplú vodu.)

#### Čo ďalej?

Doteraz máme spolu  $9 + 6,4 + 2 + 2,6 + 7 + 3,6 = 30,6$  kWh/d na osobu. Nehovorili sme už iba o elektrárňach, ktoré využívajú geotermálnu energiu a veľkoplošných slnečných elektrárňach (so zrkadlami, článkami alebo s biomasou).

Geotermálna energia by mohla fungovať, ale ešte je vo fáze výskumu. Navrhujem počítať s ňou ako s jadrovou fúziou. Je to dobrá investícia, ale nemožno sa na ňu zatiaľ spoliehať.

A čo slnečné elektrárne? Predstavme si, že by 5 % rozlohy Európy (450 m<sup>2</sup> na osobu) bolo pokrytých slnečnými FV elektrárňami, podobnými tým z Bavarska na obrázku 6.7 (s koncentráciou výkonu 5 W/m<sup>2</sup>). Takto by sme v priemerne získali 54 kWh/deň/osobu

$$5 \text{ W/m}^2 \cdot 450 \text{ m}^2/\text{osobu} \cdot 24 \text{ hod} = 54 \text{ kWh/deň na osobu.}$$

Fotovoltaické elektrárne by teda mohli významne prispieť. Veľkým problémom fotovoltaiky je jej cena. Problematické je aj získavanie elektriny počas zimy!

Energetické plodiny? Rastliny zachytávajú iba 0,5 W/m<sup>2</sup> (obr. 6.11). Ak by chcela byť Európa potravinovo sebestačná, potom prínos plodín na energetické účely nemôže byť obrovský. Áno, občas sa bude pestovať tu repka olejná a niekde inde les, ale neviem si predstaviť, že by celkový prínos energetických plodín presiahol 12 kWh/d na osobu.

#### Konečný súčet

Buďme realisti. Podobne ako Veľká Británia, ani Európa nemôže žiť z vlastných obnoviteľných zdrojov energie. Ak je cieľom odstaviť fosílna palivá, Európa musí využívať buď jadrovú energiu alebo solárnu energiu z púští mimo Európy (ako sme rozoberali na strane 179), alebo oboje.



Obrázok 30.2 Solárne tepelné kolektory, ktoré zabezpečujú prípravu teplej vody pre rodinu v Michigane. Obehové čerpadlo systému poháňa elektrina z malého fotovoltaického panelu naľavo.

## Prehodnotenie výpočtov pre Severnú Ameriku

Priemerný Američan spotrebuje 250 kWh/d na osobu. Je možné túto spotrebu dosiahnuť obnoviteľnými zdrojmi? Čo ak si predstavíme zavedenie drastických úsporných opatrení (napríklad účinné autá či vysokorychlostné elektrické vlaky), aby Američania prešli na chabú spotrebu 125 kWh/d priemerného Európana alebo Japonca?

### *Vietor*

Elliott a kol. (1991) sa zaoberal analýzou potenciálu veternej energie v USA. Podľa tejto štúdie sú najveternejšie oblasti v Severnej Dakote, Wyomingu a Montane. Zistili, že 435 000 km<sup>2</sup> najveternejších miest je možné využiť s pomerne malým množstvom turbín. Dokázali by tak zabezpečiť 4 600 TWh elektriny za rok, čo znamená **42 kWh za deň na osobu** po rozdelení medzi 300 miliónov ľudí. Autori predpokladali koncentráciu výkonu 1,2 W/m<sup>2</sup> – teda menej ako naše 2 W/m<sup>2</sup> v kapitole 4. Rozloha týchto veterných parkov, teda 435 000 km<sup>2</sup>, predstavuje približne územie Kalifornie. Veterné turbíny by tak celkovo dodávali (pri faktore zaťaženia 20 %) asi 2 600 GW, čo by znamenalo 200-násobný nárast využitia vetra v USA.

### *Vietor na mori*

Ak predpokladáme, že všetky pobrežné morské plytčiny s plochou zodpovedajúcou štátom Delaware a Connecticut (t. j. 20 000 km<sup>2</sup>, podstatná časť všetkých plytčín na východnom pobreží USA) by sme pokryli elektrárnami s koncentráciou výkonu 3 W/m<sup>2</sup>, získali by sme priemerný výkon 60 GW. Rozdelením medzi 300 miliónov ľudí to predstavuje **4,8 kWh/d na osobu**. Znamenalo by to 15-násobný nárast oproti celkovému súčasnému využitiu vetra v USA.

### *Geotermálna energia*

V kapitole 16 som spomenul štúdiu MIT (Massachusettský technologický inštitút, 2006) týkajúcu sa geotermálnej energie. Autori v nej vyzdvihli potenciál geotermálnej energie v Severnej Amerike, najmä v západných štátoch s teplejším podložíom. "S dostatočnými investíciami do výskumu a vývoja by výkonnejšie geotermálne zariadenia poskytovali najmenej 100 GW (e) výkonu pri nízkych cenách v najbližších 50 rokoch. Navyše, tieto systémy by v dlhodobom horizonte predstavovali zdroj bezpečnej elektriny." Predpokladajme, že autori štúdie majú pravdu. Ak rozdelíme tento výkon medzi 300 miliónov obyvateľov, získame tak **8 kWh/d na osobu**.

### Energia vody

Zariadenia na výrobu elektriny z vody v Kanade, USA a Mexiku vyrábajú 660 TWh ročne. Rozdelením medzi 500 miliónov obyvateľov dostaneme celkovo 3,6 kWh/d na osobu. Bolo by možné takúto výrobu energie zdvojnásobiť? Ak áno, mali by sme k dispozícii **7,2 kWh za deň na osobu**.

### Čo ďalej?

Celkový súčet je zatiaľ  $42 + 4,8 + 8 + 7,2 = 62$  kWh/d na osobu. Nie je dosť ani pre Európana! Mohol by som hovoriť aj o ďalších možnostiach, ako napríklad o udržateľnom spaľovaní kanadských lesov v elektrárňach. Avšak radšej než predlžovať túto agóniu, vráťme sa rýchlo k technológiám, ktoré sú významné: koncentračné solárne elektrárne.

Obrázok 30.3 ukazuje oblasť v Severnej Amerike, ktorá by každému (500 miliónom ľudí) poskytla priemerný výkon **250 kWh/d**.

### Konečný súčet

Bez obnoviteľných zdrojov energie využívajúcich *Slnko* nebude Severná Amerika schopná pokryť svoju spotrebu energie. V prípade ich významného rozvoja by to však možné bolo. Severná Amerika potrebuje buď solárne elektrárne na vlastných púšťach alebo jadrové elektrárne, alebo oboje.

## Prehodnotenie výpočtov pre celý svet

Ako môžeme zabezpečiť 6 miliardám ľudí toľko energie, ako má priemerný Európan – povedzme, 80 kWh za deň na osobu?

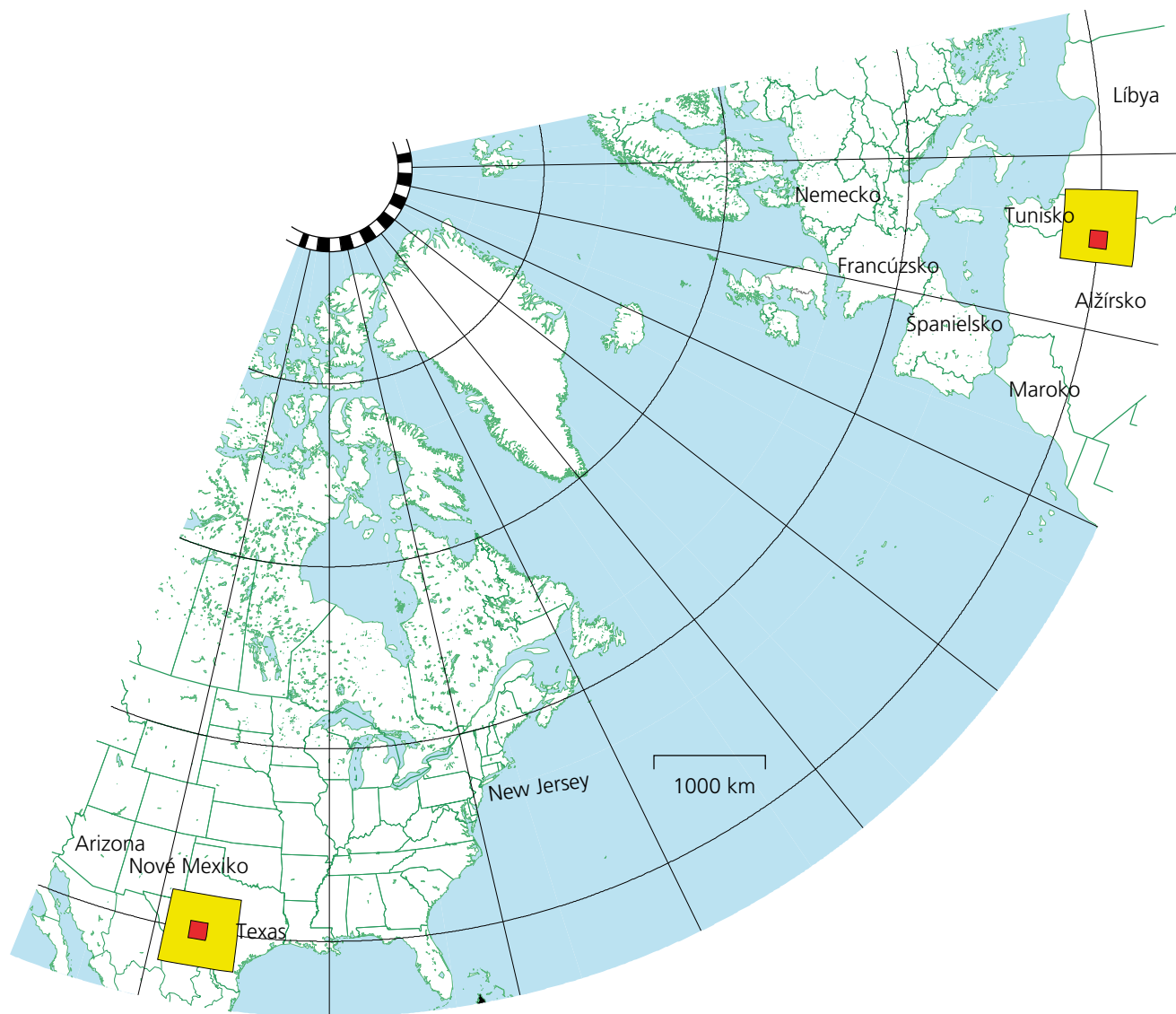
### Veterná energia

K regiónom s neobyčajne silnými stabilnými vetrami patria štáty v strede USA (Kansas, Oklahoma); Saskatchewan v Kanade; južné oblasti Argentíny a Čile, severovýchod Austrálie, severovýchod a severozápad Číny, severozápad Sudánu, juhozápad Južnej Afriky, Somálsko, Irán a Afganistan. Patria sem aj všetky pobrežné oblasti okrem tropického pásu širokého 60 stupňov severne a južne od rovníka.

Pre náš celosvetový odhad použijeme čísla navrhnuté Greenpeace a Európskou asociáciou pre veternú energiu: "Z celosvetovo dostupného potenciálu veternej energie je možné vyrobiť približne 53 000 TWh za rok." To predstavuje **24 kWh/d a osobu**.

### Energia vody

Celosvetovo prispieva energia z vody k výrobe elektriny množstvom 1,4 kWh/d na osobu.



Obrázok 30.3

Malý štvorec znovu na obzore. Štvorec s rozlohou 600 km x 600 km v severnej Amerike úplne vyplnený koncentračnými solárnymi elektrárnami by zabezpečil dostatok energie pre 500 miliónov ľudí s priemernou spotrebou Američana 250 kWh/d.

Táto mapa tiež ukazuje štvorec s rozlohou 600 km x 600 km v Afrike, s ktorým sme sa stretli už skôr. Predpokladal som rovnakú energetickú hustotu 15 W/m<sup>2</sup> ako predtým.

Plocha jedného žltého štvorca je o niečo väčšia ako rozloha Arizony a 16-násobne väčšia ako rozloha New Jersey. V každom veľkom štvorci je menší štvorec s rozlohou 145 km x 145 km zobrazujúci rozlohu na púšti – rozlohu New Jersey – potrebnú na zabezpečenie energie pre 30 miliónov ľudí, t. j. 250 kWh za deň na osobu.

Internetová stránka [www.ieahydro.org](http://www.ieahydro.org) uvádza: „Medzinárodná asociácia pre energiu vody a Medzinárodná energetická agentúra odhadujú globálny, technicky realizovateľný potenciál energie vody na získanie 14 000 TWh/rok [6,4 kWd/d na osobu], z čoho sa približne 8 000 TWh/rok [3,6 kWh/d na osobu] považuje za ekonomicky využiteľné. Väčšina využitia tohto potenciálu pripadá do oblastí Afriky, Ázie a Latinskej Ameriky.“

### *Energia prílivu*

Na svete je niekoľko miest s podobným potenciálom využiteľnej prílivovej energie ako v ústí rieky Severn (obr. 14.8). V Argentíne je to San José a záliv Nuevo; Austrália má zátoku Walcott; USA a Kanada sa delia o Fundský záliv; Kanada má Cobequid; India má Khambhatský záliv; USA má zátoky Turnagain a Knik; a nakoniec v Rusku to je záliv Tugur.

Nakoniec nemožno zabudnúť na svetového velikána, miesto Penzhinsk v Rusku s možnými 22 GW, čo je výkon desaťkrát vyšší ako na rieke Severn!

Kowalik (2004) odhaduje, že celosvetový výkon energie z morského prílivu by mohol predstavovať 40 - 80 GW. Ak to rozdelíme medzi 6 miliárd obyvateľov planéty, dostaneme sa k číslu 0,16 - 0,32 kWh/d na osobu.

### *Vlny*

Celkovú využiteľnú energiu morských vln môžeme odhadnúť vynásobením dĺžky uvažovaných častí pobreží (zhruba 300 000 km) hodnotou typického výkonu pripadajúceho na jednotku dĺžky pobrežia (10 kW na meter). Hrubý výkon takto dosahuje 3 000 GW.

Predpokladajme, že zariadenia zachytia približne len 10 % energie vln a s 50 % účinnosťou premieňajú túto energiu na elektrinu. Potom by mohla energia morských vln zabezpečiť približne 0,5 kWh/d na osobu.

### *Geotermálna energia*

Podľa D. H. Freestona z Geotermálneho inštitútu v Aucklande dosiahol v roku 1995 celkový výkon elektrárni využívajúcich geotermálne zdroje 4 GW, t. j. 0,01 kWh/d na osobu.

Ak predpokladáme, že autori z MIT na strane 234 mali pravdu a tiež, že zvyšok sveta je na tom rovnako ako Severná Amerika, potom by mohla geotermálna energia ponúknuť 8 kWh/d na osobu.

### *Solárna energia pre energetické plodiny*

Ľudia sa vždy vzrušujú nad energetickými plodinami ako jatrofa, ktorá, ako sa tvrdí, nemusí konkurovať plodinám určeným na jedlo, pretože ju môžeme pestovať na neúrodných pôdach. Než sa necháme uniesť energetickými plodinami, je potrebné sa pozrieť na čísla. Základné čísla pre jatrofu sú na strane 284. Aj keby sa celá Afrika úplne pokryla plantážami jatropy,

Sheffield	28 %
Edinburgh	30 %
Manchester	31 %
Cork	32 %
Londýn	34 %
Kolín	35 %
Kodaň	38 %
Mníchov	38 %
Paríž	39 %
Berlín	42 %
Wellington, NZ	43 %
Seattle	46 %
Toronto	46 %
Detroit, MI	54 %
Winnipeg	55 %
Peking 2403	55 %
Sydney 2446	56 %
Pula, Chorvátsko	57 %
Nice, Francúzsko	58 %
Boston, MA	58 %
Bangkok, Thajsko	60 %
Chicago	60 %
New York	61 %
Lisabon, Portugalsko	61 %
Kingston, Jamajka	62 %
San Antonio	62 %
Sevilla, Španielsko	66 %
Nairobi, Keňa	68 %
Johannesburg, SA	71 %
Tel Aviv	74 %
Los Angeles	77 %
Upington, SA	91 %
Yuma, AZ	93 %
Púšť Sahara	98 %

Tabuľka 30.4 Údaje o slnečnom svite.  
[3doae].

celková vyrobená energia, po rozdelení medzi 6 miliárd ľudí, by dosiahla **8 kWh/d na osobu** (čo predstavuje len tretinu súčasnej svetovej spotreby ropy). Nemôžete vyriešiť svoju závislosť od ropy tým, že prejdete na jatrfu!

Pokúsme sa odhadnúť hranicu celkového množstva energie, ktoré by mohli energetické plodiny priniesť svetu, použitím rovnakého postupu ako v prípade Veľkej Británie v kapitole 6. Predstavme si, že všetku ornú pôdu obetujeme na pestovanie energetických plodín. 18 % pevniny predstavuje ornú a inú poľnohospodársku pôdu – t. j. plochu 27 miliónov km<sup>2</sup>. To je **4 500 m<sup>2</sup> na osobu** po rozdelení medzi 6 miliárd ľudí. Pri predpoklade koncentrácie výkonu 0,5 W/m<sup>2</sup> a stratách 33 % vznikajúcich pri spracovávaní a obrábaní zistíme, že energetické plodiny, pokrývajúce všetku poľnohospodársku pôdu, by poskytovali **36 kWh/d na osobu**. Je možné, že ide o podhodnotenie, pretože cukrová trstina pestovaná v Brazílii (na obrázku 6.11, str. 43) dosahuje koncentráciu výkonu až 1,6 W/m<sup>2</sup>, čo je trikrát viac ako v tomto predpoklade. Dobré, možno majú energetické plodiny z Brazílie nejakú budúcnosť. Ale rád by som sa posunul k poslednej možnosti.

### *Solárny ohrev, fotovoltika a koncentračné solárne elektrárne*

Solárne tepelné kolektory na ohrev vody sú jasné. Oplatia sa takmer kdekoľvek na svete. Čína je svetovým lídrom v tejto technológii. Celkový globálny výkon solárnych kolektorov v súčasnosti presahuje 100 GW, pričom viac ako polovica pripadá na Čínu.

Fotovoltika je pre Európu technicky prijateľná, ale považoval som ju za príliš drahú. Dúfam, že sa v tomto mýlim. Bolo by skvelé, keby cena fotovoltických panelov klesla podobne ako klesla cena počítačov v priebehu posledných 40 rokov.

Odhadujem, že v mnohých oblastiach bude najlepším spôsobom ako zabezpečiť energiu zo Slnka využívanie technológie koncentrácie slnečného žiarenia, o ktorej sme hovorili na stranách 178 a 236. Na týchto stranách sme zistili, že jedna miliarda ľudí Európy a Severnej Afriky by mohla byť energeticky zabezpečená rozsiahlymi solárnymi zariadeniami umiestnenými v púšťach okolo Stredozemného mora. Ďalších 500 miliónov ľudí Severnej Ameriky by mohlo byť zabezpečených podobnými zariadeniami veľkosti Arizony z púští USA a Mexika. Ďalej nechám na čitateľa, nech skúsi nájsť iné púštne oblasti, ktoré by boli vhodné pre zvyšných 4,5 miliardy ľudí.

### *Konečný súčet*

Hodnoty energie získanej z jednotlivých zdrojov, okrem solárnej energie, sú nasledovné. Vietor: 24 kWh/d/o; voda: 3,6 kWh/d/o; príliv: 0,3 kWh/d/o; vlny: 0,5 kWh/d/o; geotermálna energia: 8 kWh/d/o – celkovo 36 kWh/d/o. Naším cieľom bolo dosiahnuť spotrebu priemerného Európana v budúcnosti, teda 80 kWh/d na osobu. Záver je jednoznačný: obnoviteľné zdroje energie, okrem využitia solárnej energie, môžu byť "obrovské," ale nie dosta-

točne obrovské. Aby sme dokončili zmysluplný plán, musíme sa spoľahnúť na jednu alebo viac technológií využívania slnečnej energie. Alebo využívať jadrovú energiu. Alebo oboje.

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

234 *Veterné zdroje na pobreží v Severnej Amerike.*

[www.ocean.udel.edu/windpower/ResourceMap/index-wn-dp.html](http://www.ocean.udel.edu/windpower/ResourceMap/index-wn-dp.html)

235 *Severná Amerika potrebuje buď solárne elektrárne na vlastných púšťach alebo jadrové elektrárne, alebo oboje.* Plán spoločnosti Google z roku 2008 na zníženie miery používania fosílnych palív v USA o 40 % si môžete prečítať v článku Jefferyho Greenblatta *Čistá energia v roku 2030* [3lcw9c]. Hlavnými črtami plánu je zvyšovanie účinnosti využívania energie, elektrifikácia dopravy a získavanie elektriny pomocou obnoviteľných zdrojov. Plán výroby elektriny zahŕňa:

10,6 kWh/d/o	z vetra,
2,7 kWh/d/o	z fotovoltiky,
1,9 kWh/d/o	zo solárnych koncentračných elektrární,
1,7 kWh/d/o	z biomasy
a 5,8 kWh/d/o	z geotermálnych zdrojov,

do roku 2030. To je celkovo 23 kWh/d/o z nových obnoviteľných zdrojov energie. Rovnako počítajú s malým nárastom jadrovej energie zo 7,2 kWh/d/o na 8,3 kWh/d/o a žiadnymi zmenami v oblasti energie z vody. Zemný plyn sa podľa štúdie bude používať aj naďalej rýchlosťou 4 kWh/d/o.

237 *Celkový svetový potenciál energie vody...*

Zdroj: [www.ieahydro.org/faq.htm](http://www.ieahydro.org/faq.htm).

- *Celková využiteľná energia morských vln na pobreží je odhadovaná na 3 000 GW.* Pozri Quayle a Changery (1981).
- *Geotermálna energia v roku 1995.* Freeston (1996).

238 *Energetické plodiny.* Pozri: Rogner (2000) pre odhady podobné mojím.

Ďalšie odporúčané čítanie: v časopise Nature nájdete osemstranový článok zaoberajúci sa problematikou, ako poskytnúť svetu energiu (Schiermeier a kol., 2008).



## 31 Posledná vec, o ktorej by sme mali hovoriť

Zachytávanie oxidu uhličitého zo vzduchu je tá posledná vec, o ktorej by sme mali hovoriť.

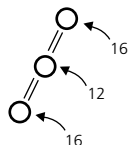
Keď to hovorím, myslím to vlastne dvojzmyselne. Jeden zmysel je ten, že energetické náklady zachytávania oxidu uhličitého zo vzduchu sú také obrovské, že je takmer absurdné o tom hovoriť (navyše je to spojené s obavami, že úvahy o takýchto geoinžinierskych možnostiach riešenia klimatickej zmeny podporujú dnešnú nečinnosť). Druhý zmysel je ten, že by sme o tom vlastne mali hovoriť, zvažovať najlepší spôsob a financovať výskum toho, ako to urobiť ešte lepšie. Zachytávanie CO<sub>2</sub> zo vzduchu totiž môže byť naša posledná šanca, ak je klimatická zmena také zlá, ako hovoria klimatológovia, a ak ľudstvo zlyhá v lacnejších a prístupnejších možnostiach, ktoré môžu byť dostupné ešte dnes.

Skôr ako začneme rozoberať možnosti zachytávania CO<sub>2</sub> zo vzduchu, potrebujeme lepšie pochopiť jeho globálny stav.

### Pochopenie CO<sub>2</sub>

Pri plánovaní knihy som sa chcel vyhnúť téme klimatickej zmeny úplne. V niektorých kruhoch bola otázka: „Dochádza ku klimatickej zmene?“ sporná. Podobne: „Môžu za to ľudia?“ či „Prekáža to?“ Posledným v dlhom rade sporov je otázka: „Čo by sme s tým mali robiť?“ Cítil som, že využívanie obnoviteľnej energie je dostatočne zdôvodnené a najlepšie by bolo takýmto sporom sa vyhnúť. Môj pôvodný argument mal byť: „Je jedno, kedy nám dôjdu neobnoviteľné zdroje. Je jedno, že ku klimatickej zmene dochádza. *Spalovanie fosílnych palív aj tak nie je trvalo udržateľné.* Predstavme si trvalo udržateľný život a zistíme, koľko energie máme k dispozícii.“

Klimatická zmena sa však dostala do povedomia verejnosti a vyplývajú z nej zaujímavé základné otázky. Takže som sa nakoniec rozhodol ju trochu rozobrať na začiatku knihy a v tejto záverečnej kapitole. Nejde o úplnú diskusiu, ale iba o pár zaujímavých čísiel.



Obrázok 31.1 Hmotnosti atómu uhlíku a molekuly CO<sub>2</sub> sú v pomere 12 k 44, pretože uhlík váži 12 jednotiek a každý z dvoch kyslíkov váži 16 jednotiek. 12 + 16 + 16 = 44.

### Jednotky

Spoplatnenie znečistenia oxidom uhličitým sa obvykle meria v dolároch alebo eurách za tonu CO<sub>2</sub>. Preto použijem *tonu* CO<sub>2</sub> ako hlavnú jednotku pri znečisťovaní CO<sub>2</sub> na osobu. (Priemerné emisie skleníkových plynov Európanov sú rovné 11 tonám CO<sub>2</sub> za rok; alebo 30 kg CO<sub>2</sub> za deň.) Keď však budem hovoriť o uhlíku vo fosílnych palivách, vegetácii, v pôde a vo vode, budem hovoriť o tonách uhlíka. Jedna tona CO<sub>2</sub> obsahuje 12/44 ton uhlíka, o niečo viac ako štvrtina tony. Na úrovni planéty budem hovoriť o gigatonách uhlíka (Gt C). Jedna gigatona uhlíka je miliarda ton. Gigatony sa ťažko

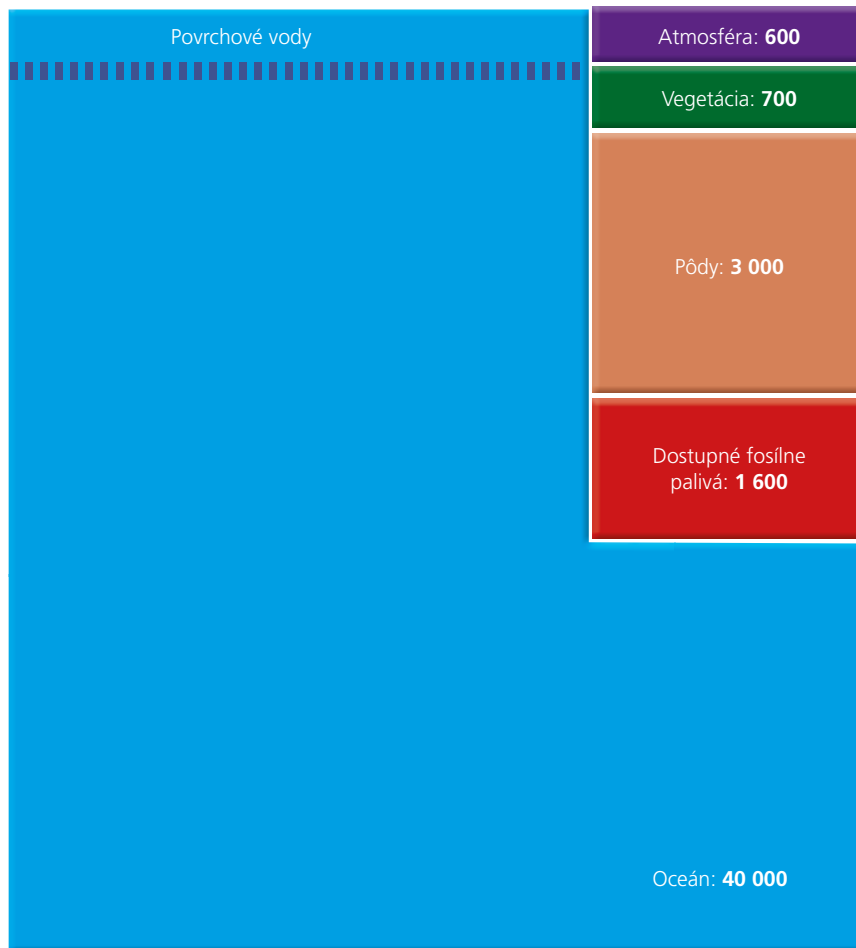


predstavujú, ak ich však chcete previesť do ľudských mierok, predstavte si spálenie jednej tony uhlia (čo je množstvo, ktoré vám postačí na vykurovanie domu jeden rok). Teraz si predstavte, že každý človek na planéte spáli jednu tonu uhlia za rok: to je 6 Gt C za rok, pretože na planéte žije 6 miliárd ľudí. [Dnes už 7 miliárd ľudí – pozn. prekl.]

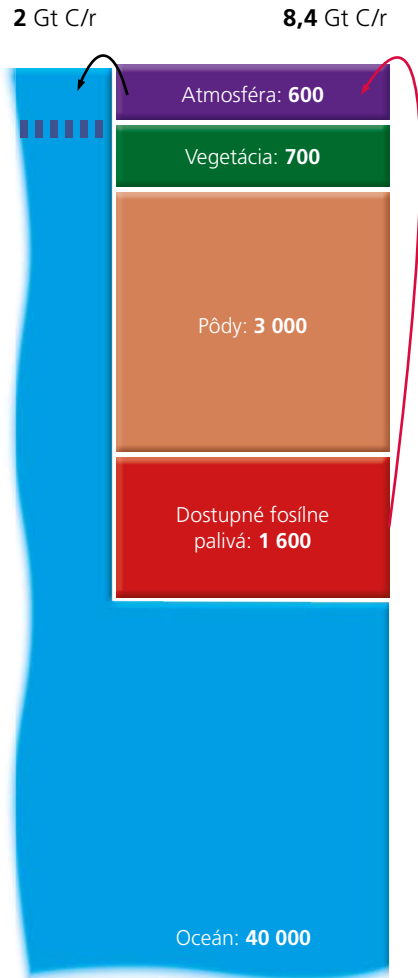
### Kde je uhlík?

Kde je všetok ten uhlík? Potrebujeme vedieť, koľko je ho v oceánoch, v zemi a vo vegetácii v porovnaní s atmosférou, aby sme pochopili následky emisií CO<sub>2</sub>.

Obrázok 31.2 ukazuje, kde je všetok ten uhlík. Väčšina z neho – 40 000 Gt – sa nachádza v oceánoch (v rozpustenom CO<sub>2</sub> vo forme plynu, uhličitanov, živých rastlín a živočíchov a rozkladajúcich sa materiálov).



Obrázok 31.2 Odhadované množstvá uhlíka v gigatonách v dostupných miestach na Zemi. (Oveľa viac uhlíku sa nachádza v horninách. Počas miliónov rokov sa uhlík presúva tak, že je zachovaná dlhodobá rovnováha medzi jeho množstvom v usadeninách, ktoré klesajú na hraniciach tektonických zlomov, a množstvom, ktoré sa z času na čas uvoľní pri sopečných výbuchoch. Pre zjednodušenie som tento geologický uhlík zanedbal.)



Obrázok 31.3 Šípky znázorňujú dva ďalšie toky uhlíka, ktoré vznikajú dôsledkom spaľovania fosílnych palív. Existuje nerovnováha medzi emisiami 8,4 Gt C/r, ktoré smerujú do atmosféry a 2 Gt C/r, ktoré pohltí oceán. Tento diagram zanedbáva menej presne známe toky medzi atmosférou, pôdou, vegetáciou a tak ďalej. [Graf ukazuje hodnoty pred priemyselnou revolúciou. Dnes je v atmosfére približne 800 Gt C. – pozn. prekl.]

Pôdy a vegetácia spolu obsahujú približne 3 700 Gt. Dostupné fosílné palivá – najmä uhlie – obsahujú približne 1 600 Gt. A nakoniec v atmosfére sa nachádza približne 600 Gt uhlíka.

Až donedávna boli všetky tieto úložiská uhlíka v približnej rovnováhe. Všetky toky uhlíka z úložísk (povedzme z pôd, vegetácie či atmosféry) boli vyvážené rovnakými tokmi do nich. Toky fosílnych palív (smerom do aj von z úložiska) boli zanedbateľné. Potom ľudia začali spaľovať fosílné palivá. To dodalo dva nové *nevyvážené* toky, ako ukazuje obrázok 31.3.

Rýchlosť spaľovania fosílnych palív bola približne 1 Gt C/r v roku 1920, 2 Gt C/r v roku 1955 a 8,4 Gt C v roku 2006. (Tieto údaje zahŕňajú malý príspevok z výroby cementu, ktorý uvoľňuje CO<sub>2</sub> z vápenca.)

Ako ovplyvnil tento významný dodatočný tok uhlíka obrázok 31.2? To nie je presne známe. Obrázok 31.3 ukazuje kľúčové veci, ktoré *známe sú*. Väčšina dodatočných 8,4 Gt C za rok, ktoré dodávame do atmosféry, tu zostáva a zvyšuje tak atmosférickú koncentráciu oxidu uhličitého. Atmosféra sa pomerne rýchlo dostáva do rovnovážneho stavu s povrchovými vodami oceánov (trvá to iba päť až desať rokov) a čistý tok uhlíka z atmosféry do oceánov predstavuje 2 Gt C ročne. (Nedávny výskum však naznačuje, že táto rýchlosť pohlcovania uhlíka oceánmi môže klesať.) Tento nevyrovnaný tok do povrchových vôd spôsobuje okysľovanie oceánov, čo je zlá správa pre koral. Určité množstvo uhlíka sa dostáva aj do vegetácie a do pôdy, asi približne 1,5 Gt C, ale tieto toky nie sú zmerané tak presne. Pretože približne polovica emisií zostáva v atmosfére, pokračujúce znečisťovanie uhlíkom 8,4 Gt C za rok bude naďalej zvyšovať koncentráciu CO<sub>2</sub> v atmosfére a v povrchových vodách.

Aký je dlhodobý osud nadbytočného CO<sub>2</sub>? Keďže množstvo fosílného uhlíka je oveľa menšie ako celkové množstvo v oceánoch, „v dlhodobom meradle“ si tento uhlík nájde cestu do oceánov a množstvo uhlíka v atmosfére, vegetácii a pôde sa vráti do normálu. Lenže „dlhodobé meradlo“ znamená tisíce rokov. Ako som povedal, vytvorenie rovnováhy medzi atmosférou a *povrchovými* vodami je rýchle, ale obrázky 31.2 a 31.3 ukazujú prerušovanú čiaru, oddeľujúcu povrchové vody oceánov od zvyšku. V časovom horizonte 50 rokov je táto hranica viac-menej stenou. Rádioaktívny uhlík rozložený po celej zemi uvoľnený z testov atómových bômb v 60. a 70. rokoch sa dostal do hĺbky približne iba 400 m. Naopak, priemerná hĺbka oceánov je až 4 000 m.

Oceány cirkulujú pomaly. Väčšine hlbokých vôd v oceánoch trvá 1 000 rokov, kým sa dostanú na povrch a znovu na dno. Cirkuláciu hlbokých vôd riadi kombinácia rozdielov teplôt a salinity, preto hovoríme o termohalinnej cirkulácii (na rozdiel od cirkulácie povrchových vôd, ktorú riadi vietor).

Táto pomalá cirkulácia oceánov má kľúčový dosah – máme dostatok fosílnych palív, aby sme vážne ovplyvnili podnebie nasledujúcich 1 000 rokov.

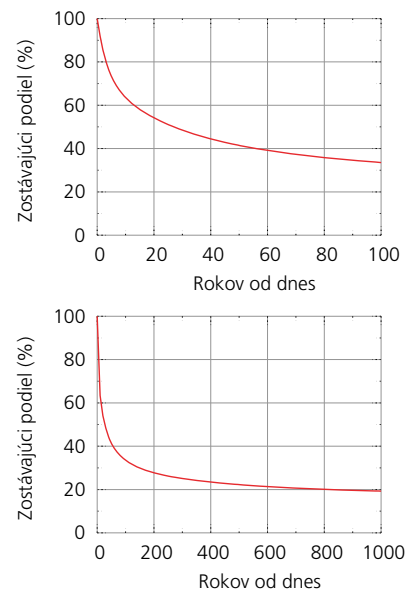
## Kam sa ukladá uhlík

Obrázok 31.3 je veľmi zjednodušený. Ľudia napríklad spôsobujú ďalšie toky, ktoré diagram neukazuje. Vypaľovanie rašelinísk a lesov na Borneu v roku 1997 uvoľnilo približne 0,7 Gt C. Náhodné požiare uhlia podľa odhadov uvoľňujú približne 0,25 Gt C za rok.

Napriek tomu nám tento obrázok pomáha približne pochopiť, čo sa stane v krátkodobom a strednodobom výhľade pri rôznych scenároch. Po prvé, ak znečisťovanie uhlíkom bude pokračovať „vývojom ako doteraz“ a spálime ďalších 500 Gt uhlíka v nasledujúcich 50 rokoch, môžeme očakávať, že  $\text{CO}_2$  bude aj naďalej postupne prenikať do povrchových vôd oceánov rýchlosťou 2 Gt za rok. Do roku 2055 by sa najmenej 100 Gt z 500 Gt dostalo do povrchových vôd a koncentrácia  $\text{CO}_2$  v atmosfére by dosiahla približne dvojnásobnú úroveň v porovnaní s obdobím pred priemyselnou revolúciou.

Ak by sme znížili spaľovanie fosílnych palív na nulu v 50. rokoch tohto storočia, tok 2 Gt z atmosféry do oceánu by takisto významne klesol. (Predstavoval som si, že tento tok do oceánu by pretrvával po desaťročia, ale to by bola pravda iba v prípade, ak by povrchové vody zostali mimo rovnováhy s atmosférou. Ale ako som už spomenul, povrchové vody a atmosféra dosahujú rovnovážny stav v priebehu niekoľkých pár rokov.) Väčšina z 500 Gt, ktoré vypustíme do atmosféry, by sa iba pomaly vstrebávala do oceánov v priebehu nasledujúcich pár tisíc rokov spolu s premiešaním povrchových vôd, ktoré nahrádza nová voda z hlbín.

Nami spôsobené narušenie koncentrácie uhlíka príroda nakoniec uvedie do poriadku, ale až po niekoľkých tisícoch rokov. To však predpokladá, že toto narušenie nepovedie k drastickým zmenám v ekosystémoch. Napríklad je možné, že okysľovanie povrchových vôd oceánov môže spôsobiť dostatočné vymieranie planktónu a spustí sa nový začarovaný kruh. Okysľovanie znamená vymieranie planktónu, preto bude pohlcovať menej  $\text{CO}_2$  z oceánov, čo spôsobí ďalšie okysľovanie oceánov. Takéto začarované kruhy (ktoré vedci nazývajú „pozitívne“ alebo „zosilňujúce“ spätné väzby) sa v minulosti na zemi odohrali. Napríklad sa predpokladá, že ľadové doby sa skončili pomerne rýchlo vďaka pozitívnym spätným väzbám, pri ktorých rastúce teploty spôsobili topenie snehu a ľadu. To znížilo odraz slnečného žiarenia od povrchu a zvýšilo pohlcovanie tepla, t. j. teplota sa zvýšila (roztopený sneh – voda je oveľa tmavšia ako zmrznutý sneh). Iný príklad pozitívnych spätných väzieb, ktorých sa možno obávať, je spojený s metánovými hydrátmi, ktoré sú zamrznuté v gigatonových množstvách v miestach, ako je arktická Sibír a v 100-gigatonových množstvách pri pobrežiach kontinentov. Globálne oteplenie o viac ako  $1\text{ }^\circ\text{C}$  môže tieto hydráty roztopiť, čo uvoľní metán do atmosféry. A metán je silnejší skleníkový plyn ako  $\text{CO}_2$ .



Obrázok 31.4 Rozklad malého pulzu  $\text{CO}_2$  vypusteného do dnešnej atmosféry, podľa Bernovho modelu uhlíkového cyklu. Zdroj: Hansen a kol. (2007).

Toto nie je miesto na podrobnejšiu diskusiu o klimatickej zmene. Namiesto toho odporúčam knihy *Avoiding Dangerous Climate Change* (Schellnhuber a kol., 2006) a *Global Climate Change* (Dessler a Parson, 2006). Takisto články od Hansena a kol. (2007) a Charneyho a kol. (1979).

Cieľom tejto kapitoly je prediskutovanie myšlienky riešenia klimatickej zmeny zachytávaním oxidu uhličitého zo vzduchu. Teraz vypočítame energetické náklady takéhoto zachytávania.

### Náklady na zachytávanie CO<sub>2</sub>

Ťažba uhlíka zo zeme je dnes výnosný biznis. V budúcnosti to bude možno jeho ukladanie do zeme. Pri predpoklade, že sa nám dnes nepodaria prijať adekvátne opatrenia na zastavenie znečisťovania CO<sub>2</sub>, možno že humanitárna koalícia (z anglického Coalition of the willing) za pár desaťročí zaplatí za vytvorenie gigantického vysávača a vyčistí neporiadok nás všetkých.

Skôr ako prejdeme k podrobnostiam zachytávania CO<sub>2</sub> zo vzduchu, pozrime sa na to, aké sú minimálne energetické náklady tohto procesu. Nech použijeme akúkoľvek technológiu, musí rešpektovať zákony fyziky. Nanešťastie, zachytávanie CO<sub>2</sub> zo vzduchu a jeho koncentrovanie vyžaduje energiu. Zákony fyziky hovoria, že na to budeme potrebovať minimálne 0,2 kWh na kg CO<sub>2</sub> (tab. 31.5). Ak vezmeme do úvahy, že reálne deje prebiehajú najviac pri 35 % účinnosti, prekvapilo by ma, ak by náklady zachytávania CO<sub>2</sub> niekedy klesli pod 0,55 kWh na kg.

Predpokladajme, že chceme neutralizovať typickú uhlíkovú stopu Európana – 11 ton CO<sub>2</sub> za rok [Pozri [www.carbonquilt.org](http://www.carbonquilt.org) – pozn. prekl.], čo predstavuje 30 kg za deň na osobu. Potrebná energia pri predpoklade 0,55 kWh na kg CO<sub>2</sub> je **16,5 kWh za deň na osobu**. To sa presne rovná **spotrebe elektriny Britov**. Takže pohon gigantického vysávača by vyžadoval zdvojnásobenie výroby elektriny alebo aspoň získanie rovnakého množstva energie, ktorá by vyrovnala našu spotrebu elektriny.

Ak je možné znížiť náklady spojené s gigantickým vysávačom, výborne, urobme to. Ale žiadny výskum a vývoj nedokážu obísť zákony fyziky, ktoré hovoria, že zachytávanie CO<sub>2</sub> zo vzduchu a jeho stlačenie do tekutej formy vyžaduje najmenej 0,2 kWh na kilogram CO<sub>2</sub>.

Aký je najlepší spôsob odčerpávania CO<sub>2</sub> zo vzduchu? Rozoberiem štyri technológie pre vybudovanie obrovských vysávačov:

- A. chemické pumpy;
- B. stromy;
- C. zrýchlené zvetrávanie hornín;
- D. hnojenie oceánov.

## A. Chemické technológie zachytávania oxidu uhličitého

Chemické technológie zväčša zachytávajú CO<sub>2</sub> v dvoch krokoch:



Najprv sa CO<sub>2</sub> zachytí z pôvodne nízkej koncentrácie v atmosfére. Potom sa stlačí do malého objemu, ktorý je vhodný na uskladnenie (buď hlboko do zeme alebo do oceánu). Každý z týchto krokov vyžaduje nejakú energiu. Energetické náklady, ktoré vyžadujú fyzikálne zákony, sú v tabuľke 31.5.

V roku 2005 boli najlepšie publikované metódy na zachytávanie CO<sub>2</sub> zo vzduchu pomerne neúčinné: 3,3 kWh na kilogram pri cene 140 dolárov na tonu CO<sub>2</sub>. Pri týchto nákladoch by zachytenie európskych 30 kg denne stálo **100 kWh za deň** – takmer rovnaké množstvo ako spotrebuje priemer- ný Európan, teda 125 kWh za deň. Je možné vymyslieť lepší vysávač?

Klimatológ Wallace Broecker, „možno jeden z najlepších vedcov dívajúci sa na Zem ako na biologický, chemický a fyzikálny systém“, nedávno propagoval myšlienku zatiaľ nepublikovanej technológie pre zachytávanie CO<sub>2</sub>. Vyvinul ju fyzik Klaus Lackner. Broecker si predstavuje, že svet môže viac-menej pokračovať v spaľovaní fosílnych palív tak ako doteraz a približne 60 miliónov vysávačov CO<sub>2</sub> (každý s veľkosťou prevráteného lodného kontajnera) bude čistiť atmosféru. Koľko energie vyžaduje Lacknerov prístup? V júni 2007 mi Lackner povedal, že jeho laboratórium dosiahlo 1,3 kWh na kg, ale odvtedy vyvinuli nový proces založený na špongii pohlcujúcej CO<sub>2</sub>, keď je suchá a uvoľňuje ho naspäť, keď je mokrá. V júni 2008 ma Lackner informoval, že pri suchom podnebí znížili náklady na zachytávanie na približne 0,18 - 0,37 kWh tepla na kilogram CO<sub>2</sub>. Náklady na stlačenie sú 0,11 kWh na kg. Takže celkové náklady Lacknerovým postupom sú 0,48 kWh alebo menej na kg. Na odstránenie európskych 30 kg CO<sub>2</sub> za deň by sme stále potrebovali **14 kWh za deň**, z ktorých **3,3 kWh za deň** by bola elektrina a zvyšok teplo.

Sláva technologickému pokroku! Len si, prosím, nemyslite, že ide o malé náklady. Potrebovali by sme zvýšiť celkovú výrobu energie približne o 20 %, len aby sme mohli začať vysávať.

## B. A čo stromy?

Stromy sú systémy zachytávajúce CO<sub>2</sub>. Pohlcujú ho zo vzduchu a neporušujú žiadne zákony fyziky. Sú to dva stroje v jednom. Predstavujú zariadenia na zachytávanie uhlíka poháňané solárnymi elektrárňami, t. j. pomocou energie zo Slnka. Fosílna palivá, ktoré dnes spaľujeme, pôvodne vznikli v tomto procese. Otázka preto znie, ako využiť opačný proces na spaľovanie fosílnych palív? Čo tak vyrastené drevo zakopávať do diery v zemi a zároveň pokračovať vo vykopávaní a spaľovaní fosílnych palív? Je hlúpe predstaviť si

	Náklady (kWh/kg)
Zachytenie	0,13
Stlačenie	0,07
Spolu	0,20

Tabuľka 31.5 Nevyhnutné energetické náklady zachytenia a stlačenia CO<sub>2</sub> zo vzduchu.



zakopávanie dreva a zároveň jeho ťažbu? Aj napriek tomu, poďme sa pozrieť na to, koľko plochy by sme potrebovali na vyriešenie klimatickej zmeny pomocou stromov.

1 hektár = 10 000 m<sup>2</sup>

Najlepšie rastliny v Európe zachytávajú CO<sub>2</sub> rýchlosťou asi 10 ton suchého dreva na hektár za rok, t. j. asi 15 ton CO<sub>2</sub> na hektár za rok. Na pohltie európskych 11 ton CO<sub>2</sub> za rok preto potrebujeme 7 500 m<sup>2</sup> lesa na osobu. Táto požadovaná plocha, teda 7 500 m<sup>2</sup> na osobu, predstavuje dvojnásobok rozlohy Veľkej Británie na osobu. Potom potrebujete najšť miesto na uskladnenie 7,5 tony dreva na osobu za rok! Pri hustote 500 kg na m<sup>3</sup> by drevo každej osoby zaberalo 15 m<sup>3</sup> ročne. V priebehu života by drevo, ktoré však musí byť bezpečne uložené a nesmie sa spáliť, zaberalo 1 000 m<sup>3</sup>. To je päťnásobok celého objemu typického domu. Ak niekto navrhuje ako riešenie klimatickej zmeny stromy, musí si uvedomiť, že by sme na to potrebovali zariadenia veľkosti krajiny. Nevie si predstaviť, ako by to mohlo fungovať.

### C. Zrýchlené zvetrávanie hornín

Existuje rafinovaný spôsob, ako sa vyhnúť energetickým nákladom chemického spôsobu pohlcovania CO<sub>2</sub>? Tu je zaujímavá myšlienka: rozdrviť horniny pohlcujúce CO<sub>2</sub> a nechať ich na voľnom vzduchu. Túto myšlienku možno chápať ako zrýchlenie prirodzených geologických procesov. Vysvetlím.

Z obrázka 31.3 som vynechal dva toky uhlíka. Ide o tok uhlíka z hornín do oceánov, ktorý je spojený s ich prirodzeným procesom zvetrávania a prirodzené ukladanie uhlíka do morských usadenín, ktoré sa nakoniec premenia na horniny. Tieto toky sú pomerne malé, v rozsahu iba približne 0,2 Gt C za rok (0,7 Gt CO<sub>2</sub> za rok). V porovnaní s antropogénnymi emisiami CO<sub>2</sub>, ktoré sú 40-násobne vyššie, sú zanedbateľné. Myšlienka zástancov zosilneného zvetrávania spočíva v tom, že by sme vyriešili klimatickú zmenu zrýchlením tohto procesu. Na tento účel sú vhodné nerasty olivíny alebo hojné horečnato-kremičité horniny. Na uskutočnenie myšlienky je potrebné najšť ložiská na miestach obklopených štvorcovými kilometrami krajiny, kde by bolo možné rozprestrieť rozdrvené horniny, alebo je možné vysypať ich priamo do oceánu. V oboch prípadoch by horniny pohlcovali CO<sub>2</sub> a vytvárali uhličitan, ktoré by nakoniec spláchol oceán. Energia potrebná na drvenie horniny tak, aby dokázala dostatočne reagovať s CO<sub>2</sub>, je iba **0,04 kWh na kg pohltého CO<sub>2</sub>**. Počkať, nie je to menej ako spomínaných 0,20 kWh na kg, ktoré vyžadujú fyzikálne zákony? Áno, ale všetko je v poriadku: samotné horniny sú zdrojom zvyšnej energie. Kremičitany obsahujú viac energie ako uhličitan, preto horniny dodávajú energiu na pohlcovanie CO<sub>2</sub> zo vzduchu.

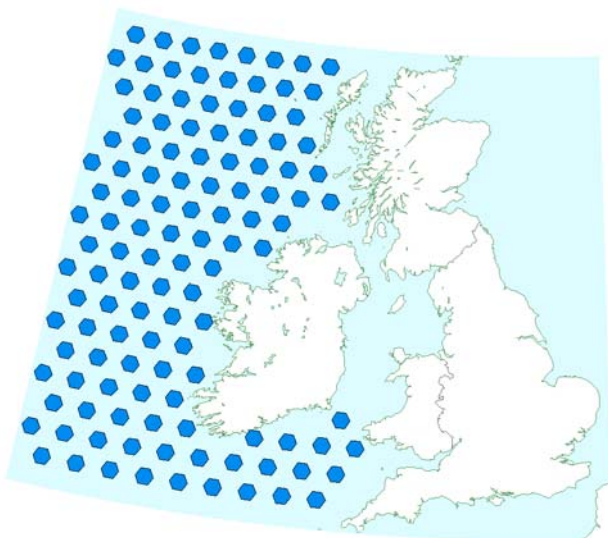
Páčia sa mi nízke energetické náklady tohto postupu, ale problémom zostáva, kto by dobrovoľne nechal pokryť svoju krajinu rozdrvenými horninami?

## D. Hnojenie oceánov

Všetky spomínané metódy pohlcovania  $\text{CO}_2$ , teda chemické pumpy, pestovanie stromov a drvenie hornín, vždy vyžadujú veľa práce. No nikto nemá dostatok motivácie, aby ich uskutočnil, ak neexistuje medzinárodná dohoda, ktorá by to zaplatila. V súčasnosti sú ceny  $\text{CO}_2$  príliš nízke.

Posledná myšlienka pre zachytávanie  $\text{CO}_2$  môže tento problém obísť. Spočíva v tom, že presvedčíme oceán, aby zachytával  $\text{CO}_2$  o trochu rýchlejšie ako normálne. Ako vedľajší produkt chytania rýb.

V niektorých oblastiach sveta je nedostatok jedla. V mnohých oblastiach sveta je nedostatok rýb pre nadmerný rybolov za posledných 50 rokov. Myšlienka *hnojenia oceánov* spočíva v pridávaní živín, aby sa podporil základ potravinového reťazca a v oceáne mohlo existovať viac rastlín a rýb, t. j. aby sa zvýšilo aj pohlcovanie  $\text{CO}_2$ . Pod vedením austrálskeho vedca Iana Jonesa by inžinieri posypávali oceány s oblasťami chudobnými na ryby hnojivom s obsahom dusíka, ako je napríklad močovina. Podľa ich tvrdení by posypanie  $900 \text{ km}^2$  oceánu pohltilo približne  $5 \text{ Mt CO}_2/\text{rok}$ . Jones s kolegami sa domnievajú, že hnojenie oceánov je možné uskutočniť vo všetkých oceánskych vodách s nedostatkom dusíka. To platí pre väčšinu severného Atlantiku. Pozrime sa, ako by vyzerala táto myšlienka na mape. Emisie oxidu uhličitého vo Veľkej Británii sú asi  $600 \text{ Mt CO}_2/\text{rok}$ . Úplná neutralizácia týchto emisií by preto vyžadovala 120 takýchto plôch v oceáne. Mapa na obrázku 31.6 ukazuje tieto oblasti pozdĺž pobrežia Veľkej Británie v skutočnej mierke. Ako obvykle, zmysluplný plán vyžaduje operácie v rozmeroch celej krajiny! A to sme ponechali bokom otázku, ako by sme posypávanie na požadovanej ploche dosiahli.



Obrázok 31.6 Spolu 120 oblastí v Atlantickom oceáne, každá s veľkosťou  $900 \text{ km}^2$ , tvoria odhadovanú plochu potrebnú na pohltenie emisií  $\text{CO}_2$  vo Veľkej Británii hnojením oceánu.

Hoci ide o neodsúšanú myšlienku a v súčasnosti nelegálnu operáciu, považujem hnojenie oceánov za zaujímavý nápad. Na rozdiel od geologického uskladňovania, ide o technológiu, ktorú je možné uskutočniť aj v prípade, ak medzinárodné spoločenstvo neocení jeho vysoký prínos v znižovaní znečisťovania CO<sub>2</sub>. Rybári jednoducho môžu hnojiť oceány preto, aby nachytali viac rýb.

*Dá sa predpokladať, že pozorovatelia budú proti hnojeniu oceánov a zamerajú sa na neistoty, skôr ako na možný prospech. Budú využívať strach verejnosti z neznámeho. Ľudia radi pasívne prijímú stupňovanie zaužívanej činnosti (napr. vypúšťanie CO<sub>2</sub> do atmosféry), ale budú sa brániť inováciám, ktoré môžu zlepšiť ich pohodlie v budúcnosti. Majú nevyváženú averziu k riziku.*

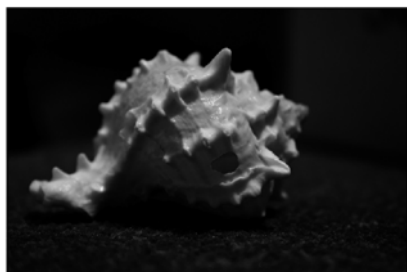
Ian Jones

*My ľudia si nemôžeme dovoliť vypustiť do atmosféry všetok, dokonca ani väčšinu CO<sub>2</sub> z fosílnych palív. To by znamenalo dramatickú zmenu podnebia a vytvorenie odlišnej planéty...*

J. Hansen a kol. (2007)

*„Vyhnúť sa nebezpečnej klimatickej zmene“ nie je možné – tá prebieha už teraz. Otázka znie, dokážeme sa vyhnúť **katastrofickej** klimatickej zmene?*

David King, hlavný vedecký poradca britskej vlády, 2007



## Poznámky

Strana číslo

**240 Klimatická zmena... bola kontroverzná otázka.** A naozaj stále existuje „priepastná medzera medzi väčšinovým názorom na klimatickú zmenu a medzi vzdelanými elitami Európy a Ameriky“.

**241 Kde je uhlík?** Zdroje: Schellnhuber a kol. (2006), Davidson a Janssens (2006).

**242 Rýchlosť spaľovania fosílnych palív...** Zdroj: Marland a kol. (2007).

- **Nedávny výskum však naznačuje, že táto rýchlosť pohlcovania uhlíka oceánmi môže klesať.** [www.timesonline.co.uk/tol/news/uk/science/article1805870.ece](http://www.timesonline.co.uk/tol/news/uk/science/article1805870.ece), [www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/1136188](http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/1136188), [yofchc], Le Quéré a kol. (2007).

- **približne polovica emisií uhlíka zostane v atmosfére.** Na to, aby sa zvýšila koncentrácia CO<sub>2</sub> vo vzduchu o jednu milióntinu (ppm) je potrebných 2,1 miliardy ton uhlíka v atmosfére (7,5 Gt CO<sub>2</sub>). Ak by všetok CO<sub>2</sub>, ktorý sme vypustili, zostal v atmosfére, koncentrácia by rástla rýchlosťou viac ako 3 ppm za rok. V skutočnosti však rastie rýchlosťou asi 1,5 ppm za rok [dnes je to už 2 ppm za rok – pozn. prekl.].

- **Rádioaktívny uhlík... sa dostal do hĺbky iba približne 400 m.** Na konci 70. rokov bola priemerná hodnota prenikania <sup>14</sup>C bômb všetkých skúšobných stanovísk do hĺbky 390 ± 39 m (Broecker a kol., 1995). Z [3e28ed].

**243 Globálne otepľovanie väčšie ako 1 °C by mohlo roztopiť hydráty metánu.** Zdroj: Hansen a kol. (2007, str. 1942).



- 245 *Tabuľka 31.5. Nevyhnutné energetické náklady zachytávania a stlačenia CO<sub>2</sub> zo vzduchu.* Nevyhnutne potrebné náklady energie na zachytávanie CO<sub>2</sub> z 0,03 % na 100 % pri atmosférickom tlaku sú  $kT \ln 100/0,03$  na jednu molekulu, čo predstavuje **0,13 kWh na kg**. Ideálne energetické náklady stlačenia CO<sub>2</sub> na 110 barov (tlak potrebný pre geologické uskladnenie) sú **0,067 kWh/kg**. Celkové ideálne náklady zachytávania a stlačenia CO<sub>2</sub> sú **0,2 kWh/kg**. Podľa špeciálnej správy IPCC o zachytávaní a uskladňovaní CO<sub>2</sub> sú praktické náklady druhého kroku, teda stlačenie CO<sub>2</sub> na 110 barov, **0,11 kWh na kg** (0,4 GJ na t CO<sub>2</sub>; 18 kJ na mól CO<sub>2</sub>; 7 kT na molekulu).
- *Uloží sa buď hlboko do zeme alebo hlboko do oceánu.* Pre ďalšiu diskusiu pozri Williams (2000). „Aby väčšia časť vstreknutého CO<sub>2</sub> zostala v oceáne, musí sa to uskutočniť vo veľkej hĺbke. Začína prevládať zhoda, že najlepšia krátkodobá stratégia je ukladiť CO<sub>2</sub> do hĺbky 1 000 - 1 500 metrov, čo je možné uskutočniť s existujúcou technológiou.“ Pozri aj špeciálnu správu IPCC: [www.ipcc.ch/ipccreports/srccs.htm](http://www.ipcc.ch/ipccreports/srccs.htm).
  - *V roku 2005 boli najlepšie publikované metódy pre zachytávanie CO<sub>2</sub> zo vzduchu pomerne neúčinné: 3,3 kWh na kilogram pri cene 140 dolárov na tonu CO<sub>2</sub>.* Zdroje: Keith a kol. (2005), Lackner a kol. (2001), Herzog (2003), Herzog (2001), David a Herzog (2000).
  - *Wallace Broecker, klimatológ...* [www.af-info.or.jp/eng/honor/hot/enrbro.html](http://www.af-info.or.jp/eng/honor/hot/enrbro.html). Vo svojej knihe propaguje umelé stromy. Broecker a Kunzig (2008).
- 246 *Najlepšie rastliny v Európe zachytávajú CO<sub>2</sub> rýchlosťou asi 10 ton suchého dreva na hektár za rok.* Zdroj: Select Committee on Science and Technology.
- *Zrýchlené zvetrávanie hornín.* Pozri Schuiling a Krijgsman (2006).
- 247 *Hnojenie oceánov.* Pozri Judd a kol. (2006). Pozri aj Chisholm a kol. (2001). Riziká hnojenia oceánov rozoberá Jones (2006).

## 32 Povedať áno

Keďže Veľká Británia v súčasnosti získava 90 % svojej energie z fosílnych palív, nie je prekvapujúce, že ich odstavenie si bude vyžadovať veľké, skutočne veľké zmeny: úplnú zmenu spôsobu dopravy, kompletnú zmenu vlastností vykurovacích zariadení väčšiny budov a desať- či dvadsaťnásobný nárast produkcie zelenej energie.

Tým, že ľudia majú všeobecný sklon povedať „nie“ veterným parkom, „nie“ jadrovej energii, „nie“ prílivovým hrádzam, „nie“ všetkému ostatnému, okrem energetických zariadení na fosílnu palivá, obávam sa, že sa ich nezbavíme tak, ako potrebujeme. Namiesto toho sa uspokojíme s polovičnými riešeniami: trochu účinnejšími elektrárnami na fosílnu palivá, autami a domácim vykurovaním; neúčinným obchodovaním s emisiami; hŕstkou veterných turbín a nedostatočným počtom jadrových elektrární.

Musíme si zvoliť zmysluplný plán. Je možné vymyslieť plán, ktorý dáva zmysel, ale nebude to jednoduché.

Musíme prestať na všetko hovoriť „nie“ a začať hovoriť „áno“. Musíme ukončiť šou Puncha a Judy [tradičná britská tragikomická bábková hra – pozn. prekl.] a začať stavať zariadenia na využitie obnoviteľných zdrojov energie.

Ak chcete čestnú a realistickú energetickú stratégiu, ktorá dáva zmysel, prosím, povedzte to všetkým vašim politickým zástupcom a budúcim politickým kandidátom.

## Pod'akovanie

Robert MacKay, Gale Ryba a Mary Archem ma zasvetili do ekológie, ďakujem im za to.

Za desiatky horlivých diskusií o každom detaile si pod'akovanie zaslúžia Matthew Bramley, Mike Cates a Tim Jervis.

Za dobré nápady, inšpiráciu, zlepšenie slovných obrátov, užitočnú kritiku a podporu, ďakujem týmto ľuďom, ktorí pomohli vytvoriť túto knihu. John Hopfield, Sanjoy Mahajan, Iain Murray, Ian Fells, Tony Benn, Chris Bishop, Peter Dayan, Zoubin Ghahramani, Kimber Gross, Peter Hodgson, Jeremy Lefroy, Robert MacKay, William Nuttall, Mike Sheppard, Ed Snelson, Quentin Stafford-Fraser, Prashant Vaze, Mark Warner, Seb Wills, Phil Cowans, Bart Ullstein, Helen de Mattos, Daniel Corbett, Greg McMullen, Alan Blackwell, Richard Hills, Philip Sargent, Denis Mollison, Volker Heine, Olivia Morris, Marcus Frean, Erik Winfree, Caryl Walter, Martin Hellman, Per Sillrén, Trevor Whittaker, Daniel Nocera, Jon Gibbins, Nick Butler, Sally Daultrey, Richard Friend, Guido Bombi, Alessandro Pastore, John Peacock, Carl Rasmussen, Phil C. Stuart, Adrian Wrigley, Jonathan Kimmitt, Henry Jabbour, Ian Bryden, Andrew Green, Montu Saxena, Chris Pickard, Kele Baker, Davin Yap, Martijn van Veen, Sylvia Frean, Janet Lefroy, John Hinch, James Jackson, Stephen Salter, Derek Bendall, Deep Throat, Thomas Hsu, Geoffrey Hinton, Radford Neal, Sam Roweis, John Winn, Simon Cran-McGreehin, Jackie Ford, Lord Wilson of Tillyorn, Dan Kammen, Harry Bhadesia, Colin Humphreys, Adam Kalinowski, Anahita New, Jonathan Zwart, John Edwards, Danny Harvey, David Howarth, Andrew Read, Jenny Smithers, William Connolley, Ariane Kossack, Sylvie Marchand, Phil Hobbs, David Stern, Ryan Woodard, Noel Thompson, Matthew Turner, Frank Stajano, Stephen Stretton, Terry Barker, Jonathan Köhler, Peter Pope, Aleks Jakulin, Charles Lee, Dave Andrews, Dick Glick, Paul Robertson, Jürg Matter, Alan and Ruth Foster, David Archer, Philip Sterne, Oliver Stegle, Markus Kuhn, Keith Vertanen, Anthony Rood, Pilgrim Beart, Ellen Nisbet, Bob Flint, David Ward, Pietro Perona, Andrew Urquhart, Michael McIntyre, Andrew Blake, Anson Cheung, Daniel Wolpert, Rachel Warren, Peter Tallack, Philipp Hennig, Christian Steinrücken, Tamara Broderick, Demosthenis Pafitis, David Newbery, Annee Blott, Henry Leveson-Gower, John Colbert, Philip Dawid, Mary Waltham, Philip Slater, Christopher Hobbs, Margaret Hobbs, Paul Chambers, Michael Schlup, Fiona Harvey, Jeremy Nicholson, Ian Gardner, Sir John Sulston, Michael Fairbank, Menna Clatworthy, Gabor Csanyi, Stephen Bull, Jonathan Yates, Michael Sutherland, Michael Payne, Simon Learmount, John Riley, Lord John Browne, Cameron Freer, Parker Jones, Andrew Stobart, Peter Ravine, Anna Jones, Peter Brindle, Eoin Pierce, Willy Brown, Graham Treloar, Robin Smale, Dieter Helm, Gordon Taylor, Saul Griffith, David Cebonne, Simon Mercer, Alan Storkey, Giles Hodgson, Amos Storkey, Chris Williams, Tristan Collins, Darran Messem, Simon Singh, Gos Micklem, Peter Guthrie, Shin-Ichi Maeda, Candida Whitmill, Beatrix Schlarb-Ridley, Fabien Petitcolas, Sandy Polak, Dino Seppi, Tadashi Tokieda, Lisa Willis, Paul Weall, Hugh Hunt, Jon Fairbairn, Miloš T. Kojašević, Andrew Howe, Ian Leslie, Andrew Rice, Miles Hember, Hugo Willson, Win Rampen, Nigel Goddard, Richard Dietrich, Gareth Gretton, David Sterratt, Jamie Turner, Alistair Morfey, Rob Jones, Paul McKeigue, Rick Jefferys, Robin S Berlingo, Frank Kelly, Michael Kelly, Scott Kelly, Anne Miller, Malcolm Mackley, Tony Juniper, Peter Milloy, Cathy Kunkel, Tony Dye, Rob Jones, Garry Whatford, Francis Meyer, Wha-Jin Han, Brendan McNamara, Michael Loughton, Dermot Mc-Donnell, John McCone, Andreas Kay, John McIntyre, Denis Bonnelle, Ned Ekins-Daukes, John Daglish, Jawed Karim, Tom Yates, Lucas Kruijswijk, Sheldon Greenwell, Charles Copeland, Georg Heidenreich, Colin Dunn, Steve Foale, Leo Smith, Mark McAndrew, Bengt Gustafsson, Roger Pharo, David Calderwood, Graham Pendlebury, Brian Collins, Paul Hasley, Martin Dowling, Martin Whiteland, Andrew Janca, Keith Henson, Graeme Mitchison, Valerie MacKay, Dewi Williams, Nick Barnes, Niall Mansfield, Graham Smith, Wade Amos, Sven Weier, Richard McMahon, Andrew Wallace, Corinne Meakins, Eoin O'Carroll, Iain McClatchie, Alexander Ač, Mark Suthers, Gustav Grob, Ibrahim Dincer, Ian Jones, Adnan Midilli, Chul Park, David Gelder, Damon Hart- 251 Davis, George Wallis, Philipp Spöth, James Wimberley, Richard Madeley, Jeremy Leggett, Michael Meacher, Dan Kelley, Tony Ward-Holmes, Charles Barton, James Wimberley, Jay Mucha, Johan Simu, Stuart Lawrence, Nathaniel Taylor, Dickon Pinner, Michael Davey, Michael Riedel, William Stoett, Jon Hilton, Mike Armstrong, Tony Hamilton, Joe Burlington, David Howey, Jim Brough, Mark Lynas, Hezlin Ashraf-Ball, Jim Oswald, John Lightfoot, Carol Atkinson, Nicola Terry, George Stowell, Damian Smith,

Peter Campbell, Ian Percival, David Dunand, Nick Cook, Leon di Marco, Dave Fisher, John Cox, Jonathan Lee, Richard Procter, Matt Taylor, Carl Scheffler, Chris Burgoyne, Francisco Monteiro, Ian McChesney a Liz Moyer. Ďakujem všetkým.

Za pomoc pri hľadaní klimatologických údajov ďakujem Emily Shuckburgh. Veľmi vďačný som Kele Baker za údaje o elektrických autách na obrázku 20.21. Ďalej ďakujem Davidovi Sterrattovi za odborné príspevky a Niallovi Mansfieldovi, Jonathanovi Zwartovi a Anne Jones za vynikajúce rady pri editovaní.

Zostávajúce chyby sú samozrejme moje vlastné.

Som obzvlášť zaviazaný Sebovi Willsovi, Philovi Cowansovi, Oliverovi Stegleovi, Patrickovi Welche a Carlovi Schefflerovi za udržiavanie mojich počítačov v chode.

Ďakujem Africkému inštitútu pre matematické vedy v Kapskom Meste a Inštitútu Isaaca Newtona pre matematické vedy v Cambridgei za ich pohostinnosť.

Veľmi pekne ďakujem Digital Technology Group, Výpočtovému stredisku, oddeleniu fyziky v Cambridgei a Heriot-Watt University za poskytnutie meteorologických údajov. Som taktiež vďačný Jersey Water a Guernsey Electricity za to, že mi umožnili navštíviť ich zariadenia.

Ďakujem Gilby Productions za poskytnutie služby TinyURL. TinyURL je obchodná značka spoločnosti Gilby Productions. Ďakujem Ericovi Johnstonovi a spoločnosti Satellite Signals Limited za vytvorenie pekného rozhrania máp [www.satsig.net].

Ďakujem Davidovi Sternovi za vytvorenie podobizne, Becky Smithovi za obrazovú predlohu a Claire Jervisovej za fotografie na stranách ix, 31, 90, 95, 153, 245, 289 a 325. Za ostatné fotky ďakujem Robertovi MacKayovi, Ericovi LeVinovi, Marcusovi Freanovi, Rosie Wardovej, Harrymu Bhadeshiaovi, Catherine Huangovej, Yaan de Carlanovi, Pippa Swannellovej, Corinne Le Quéré, Davidovi Faimanovi, Kele Bakerovi, Timovi Jervisovi a anonymným prispievateľom Wikipédie. Som taktiež vďačný kancelárii starostu Londýna za poskytnutie kópií inzercie.

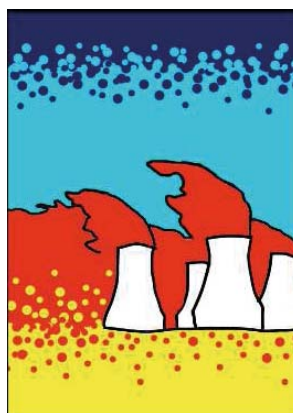
Obrazová predloha na strane 240 je „Panna v Londýne,“ a na strane 288, „Slniečnice,“ ktoré vytvorila Banksy [www.banksy.co.uk](http://www.banksy.co.uk). Ďakujem, Banksy!

Offsetové služby poskytlo [cheatneutral.com](http://cheatneutral.com).

Táto kniha je napísaná v systéme LATEX pod operačným systémom Ubuntu GNU/Linux s použitím voľne dostupných programov. Grafy boli vytvorené pomocou programov gnuplot a metapost. Mnohé z máp boli vytvorené programom gmt Paula Wessela a Waltera Smitha. Ďakujem taktiež Martinovi Weineltovi a OMC. Ďakujem tiež Donaldovi Knuthovi, Leslie Lamportovej, Richardovi Stallmanovi, Linus Torvaldsovi a všetkým tým, ktorí prispeli k voľne dostupným programom.

Moja najväčšia vďaka nakoniec patrí nadácii Gatsby Charitable Foundation, ktorá podporovala mňa a moju vedec-kú skupinu pred, počas a po napísaní tejto knihy.

*Časť III*  
Technické kapitoly





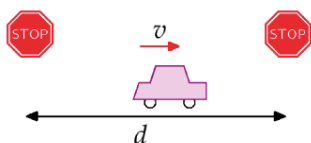
Obrázok A.1 Peugeot 206 má koeficient odporu 0,33. Fotografia: Christopher Batt.

Kľúčový vzorec pre väčšinu výpočtov v tejto knižke je:

$$\text{kinetická energia} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Napríklad automobil s hmotnosťou  $m = 1\,000$  kg pohybujúci sa 100 km/h, resp. rýchlosťou  $v = 28$  m/s má energiu

$$\approx \frac{1}{2} m \cdot v^2 \approx 390\,000 \text{ J} \approx 0,1 \text{ kWh.}$$



Obrázok A.2 Náš model: auto sa pohybuje rýchlosťou  $v$  medzi značkami STOP umiestnenými od seba vo vzdialenosti  $d$ .

Obrázok A.3 Auto pohybujúce sa rýchlosťou  $v$  vytvára za sebou trubicu prúdiaceho vzduchu. Plocha prierezu tejto trubice je približne rovnaká ako čelná plocha vozidla. Rýchlosť, pri ktorej vzduch prúdi v tejto trubici, je približne  $v$ .

## A Autá II

Určili sme, že auto na vzdialenosť 100 km spotrebuje približne 80 kWh energie.

Čo sa s touto energiou deje? Ako to závisí od vlastností auta? Dokážeme vyrobiť autá stonásobne účinnejšie? Aby sme to zistili, vytvoríme jednoduchý model jazdy autom. Energia v typickom aute na fosílné palivo sa premieňa v štyroch hlavných oblastiach. Preskúmajme každú z nich:

1. zrýchľovanie a následné spomaľovanie spôsobené brzdením;
2. odpor vzduchu;
3. valivý odpor;
4. teplo – 75 % energie odíde hneď ako teplo, pretože premena paliva na prácu je neefektívna.

V tomto modeli spočiatku budeme ignorovať valivý odpor. Na jeho vplyv sa v tejto kapitole pozrieme neskôr.

Predpokladajme, že vodič prudko zrýchľuje až na rovnomernú rýchlosť  $v$  a udržuje ju na vzdialenosť  $d$ , pričom  $d$  predstavuje vzdialenosť medzi semaforami, značkami STOP alebo dopravnými zápchami. V týchto bodoch vodič zošliapne brzdú a premení všetku kinetickú energiu auta na teplo v brzdách (takéto auto nemá účinné regeneratívne brzdenie). Následne, ak je to možné, začne znovu zrýchľovať na svoju požadovanú rýchlosť  $v$ . Toto zrýchlenie automobilu dodáva kinetickú energiu, zatiaľ čo brzdenie kinetickú energiu uberá.

Energia sa však nemení iba pri brzdení. Zatiaľ, čo je auto v pohybe, vzniká v jeho okolí prúdenie vzduchu. Auto tak zanecháva za sebou prúdici vzduch, ktorý sa pohybuje rýchlosťou blízkou rýchlosti  $v$ . Ktorá z týchto dvoch foriem strát energie je väčšia: kinetická energia prúdiaceho vzduchu alebo teplo v brzdách? Poďme to zistiť.

- Auto zrýchli a spomalí jedenkrát za čas  $d/v$ . Pomer, pri ktorom sa energia dodáva do brzd, je:

$$\frac{\text{kinetická energia}}{\text{čas medzi zastaveniami}} = \frac{\frac{1}{2} m_c \cdot v^2}{\frac{d}{v}} = \frac{\frac{1}{2} m_c \cdot v^3}{d}, \quad (\text{A.1})$$

kde  $m_c$  je hmotnosť auta.



- Trubica vzduchu vytvorená za čas  $t$  má objem  $A \cdot v \cdot t$ , kde  $A$  je plocha prierezu trubice, ktorá je približne rovnaká ako čelná plocha vozidla. (V prípade aerodynamického vozidla je plocha prierezu trubice  $\alpha$  menšia ako čelná plocha vozidla  $A_{\text{auto}}$  a pomer takéhoto prierezu plochy trubice oproti ploche auta je koeficient odporu vozidla  $c_d$ . V nasledujúcich rovniciach  $A$  predstavuje efektívnu plochu auta,  $c_d \cdot A_{\text{auto}}$ ). Trubica vzduchu má hmotnosť  $m_{\text{vzduch}} = \rho \cdot A \cdot v \cdot t$  (kde  $\rho$  je hustota vzduchu) a vzduch v trubici prúdi rýchlosťou  $v$ , takže kinetická energia vzduchu je:

$$\frac{1}{2} m_{\text{vzduch}} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v \cdot t \cdot v^2$$

a rýchlosť vytvárania kinetickej energie v prúdiacom vzduchu je:

$$\frac{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v \cdot t \cdot v^2}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3.$$

Takže celkové množstvo autom premenenej energie je:

výkon smerujúci do brzd + výkon smerujúci do prúdiaceho vzduchu

$$= \frac{1}{2} m_c \cdot v^3 / d + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3. \quad (\text{A.2})$$

Obe formy premeny energie sú úmerné  $v^3$ . Takže náš model predpovedá, že vodič, ktorý zníži rýchlosť o polovicu, zníži výkon až osemnásobne. Ak pri takomto znížení rýchlosti chce vodič prejsť rovnakú vzdialenosť, bude mu to trvať dvakrát dlhšie, ale celková spotrebovaná energia počas celej jeho cesty bude štyrikrát nižšia.

Ktorá z týchto dvoch foriem strát energie je väčšia: energia v brzdnom systéme alebo energia v prúdiacom vzduchu? Závisí to od pomeru

$$(m_c/d)/(\rho \cdot A).$$

Ak je pomer oveľa väčší ako 1, potom viac energie smeruje do brzd. Ak je menší, viac energie smeruje na prekonanie prúdiaceho vzduchu. Upravením tohto pomeru dostaneme, že je väčší ako 1, ak

$$m_c > \rho \cdot A \cdot d.$$

$A \cdot d$  je objem trubice vzduchu, ktorou auto prešlo od jednej značky STOP k nasledujúcej.  $\rho \cdot A \cdot d$  je hmotnosť tohto vzduchu. Takže máme veľmi jednoduchú situáciu. V prípade, ak je hmotnosť vozidla väčšia ako hmotnosť trubice vzduchu od jednej značky STOP po druhú, tak dominuje kinetická energia vložená do brzd. V prípade, ak je hmotnosť vozidla menšia (obr. A.4), tak dominuje energia rozptyľovaná v prúdiacom vzduchu.

Podme určiť kritickú vzdialenosť  $d^*$  medzi dvoma zastaveniami, pričom pri vzdialenosti menšej ako  $d^*$  sa viac energie spotrebuje na brzdenie a pri vzdialenosti väčšej ako  $d^*$  sa jej viac spotrebuje na odpor vzduchu. Ak čelná plocha vozidla je:

$$A_{\text{auto}} = 2 \text{ m široké} \cdot 1,5 \text{ m vysoké} = 3 \text{ m}^2$$

Používam vzorec:

Hmotnosť = hustota × objem

Symbol  $\rho$  (grécke písmeno „ró“) označuje hustotu.



Obrázok A.4 Aby sme zistili, či sa výkon spotrebuje hlavne v brzdnom systéme alebo na prekonanie odporu vzduchu, porovnáme hmotnosť vozidla s hmotnosťou vzduchovej trubice medzi dvomi značkami STOP.



Obrázok A.5 Výkon spotrebovaný na pohon vozidla je priamo úmerný prierezu jeho čelnej plochy počas jeho jazdy mimo mesta a jeho hmotnosti počas jazdy v meste. Uhádnite, ktoré auto je úspornejšie: VW na ľavej strane alebo terénne auto na pravej strane?

a koeficient odporu je  $c_d = 1/3$  a hmotnosť vozidla je  $m_{\text{auto}} = 1\,000\text{ kg}$ , potom vzdialenosť je:

$$d^* = \frac{m_{\text{auto}}}{\rho \cdot c_d \cdot A_{\text{auto}}} = \frac{1\,000\text{ kg}}{1,3\text{ kg/m}^3 \cdot \frac{1}{3} \cdot 3\text{ m}^2} = 750\text{ m}.$$

Pri jazde v meste teda prevláda kinetická energia a energia spotrebovaná na brzdenie, ak je vzdialenosť medzi dvomi zastaveniami menšia ako 750 m. Pri týchto podmienkach je možné ušetriť energiu nasledujúcimi spôsobmi:

1. znížením hmotnosti auta;
2. používaním auta s rekuperáciou energie pri brzdení (ktoré dokáže ušetriť približne polovicu energie idúcej do brzd - pozri kap. 20); a
3. pomalšou jazdou.

Ak je vzdialenosť medzi dvoma zastaveniami oveľa väčšia ako 750 m, energia sa spotrebuje najmä na prekonanie odporu vzduchu. V tomto prípade nezáleží na tom, aká je hmotnosť vozidla. Spotreba energie je približne rovnaká, či auto viez jednu osobu alebo šesť osôb. Túto spotrebu je možné znížiť:

1. znížením koeficientu odporu vzduchu;
2. znížením čelnej plochy auta;
3. pomalšou jazdou.

Aktuálnu spotrebu energie auta, vyjadrenú rovnicou A.2, zvýši faktor, ktorý súvisí s nízkou účinnosťou spaľovacieho motora a prevodovkou. Typické spaľovacie motory majú účinnosť približne 25 %, takže z celkovej chemickej energie viazanej v palive sa tri štvrtiny premenia na teplo v motore a iba jedna štvrtina sa využije:

$$\text{celkový príkon auta} \approx 4 \cdot \left[ \frac{1}{2} \frac{m_c \cdot v^3}{d} + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \right].$$

Overme túto teóriu konkrétnymi možnými hodnotami pre jazdu vozidlom mimo mesta. Majme  $v = 110\text{ km/h} = 31\text{ m/s}$ ,  $A = c_d \cdot A_{\text{auto}} = 1\text{ m}^2$ . Príkon, ktorý motor potrebuje, sa približne rovná:

$$4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 = 2 \cdot 1,3\text{ kg/m}^3 \cdot 1\text{ m}^2 \cdot (31\text{ m/s})^3 = 80\text{ kW}.$$

Ak riadime auto s rýchlosťou 110 km/h jednu hodinu každý deň, potom prejdeme 110 km a spotrebujeme denne **80 kWh energie**. Ale ak znížime rýchlosť o polovicu a prejdeme tú istú vzdialenosť za dve hodiny, spotrebujeme **20 kWh energie**. Takže táto jednoduchá teória sa zhoduje s tým, čo

ENERGIA NA VZDIALENOSŤ
Auto pri 110 km/h $\Leftrightarrow 80\text{ kWh}/(100\text{ km})$
Bicykel pri 21 km/h $\Leftrightarrow 2,4\text{ kWh}/(100\text{ km})$
LIETADLÁ PRI 900 km/h
A380 $\Leftrightarrow 27\text{ kWh}/100\text{ sedadlo/km}$

Tabuľka A.6 Fakty, ktoré je dobré vedieť: spotreba energie auta, bicykla a lietadla.



som uviedol v kapitole 3. Navyše nám táto teória poskytuje pohľad na to, ako môžeme znížiť energiu spotrebovanú autom. Teória má niekoľko chybičiek, ktoré následne preskúmame.

Je možné vyrobiť auto, ktoré spotrebuje stonásobne menej energie a dokáže ísť rýchlosťou 110 km/h? **Nie.** Nie, ak má ten istý tvar. Pri jazde mimo mesta rýchlosťou 110 km/h sa energia spotrebúva hlavne na prekonanie odporu vzduchu. Zmena materiálu vozidla to neovplyvní. Zázračné zlepšenie spaľovacieho motora môže odhadom zvýšiť jeho účinnosť od 25 % do 50 %, čo zníži spotrebu energie takého vozidla približne na 40 kWh na 100 km.

Elektromobily majú veľa výhod, ale jednu zásadnú nevýhodu, a to hmotnosť akumulátorov potrebných pre pohon. Hmotnosť akumulátora, ktorý má uskladniť rovnaké množstvo energie, ako sa nachádza vo fosílnom palive, je až dvadsaťpäťnásobne vyššia, ale hmotnosť elektrického motora môže byť približne osemnásobne nižšia ako hmotnosť spaľovacieho motora. Jednotlivé stupne využitia energie v elektromobile sú mnohonásobne účinnejšie: v elektrických motoroch dosahuje účinnosť až 90 %.

Podrobnejšie sa k elektromobilom vrátíme na konci tejto kapitoly.

### Bicykle a triky pomocou úprav

Vtipná otázka: koľko energie sa spotrebuje pri jazde na bicykli v kWh na 100 km? Jazda na bicykli si vyžaduje tak ako v prípade auta spotrebovanú energiu na prekonanie odporu vzduchu. Teraz môžeme urobiť všetky výpočty tak, že ich nahradíme hodnotami týkajúcimi sa jazdy na bicykli. Ale je tu jednoduchý trik, ktorý môžeme použiť na získanie výsledkov pre bicykel. Energia spotrebovaná autom počas jazdy súvisí s výkonom spotrebovaným na prekonanie odporu vzduchu,

$$4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

podelená rýchlosťou  $v$ , takže

$$\text{energia na vzdialenosť} = 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2.$$

Číslo „4“ charakterizuje nízku účinnosť spaľovacieho motora,  $\rho$  je hustota vzduchu, plocha  $A = c_d \cdot A_{\text{auto}}$  je efektívna čelná plocha automobilu a  $v$  je jeho rýchlosť.

Teraz môžeme porovnať bicykel s autom vydelením  $4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$  pre bicykel s  $4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$  pre auto. Všetky čísla a hustoty vzduchu sa zrušia, ak je účinnosť motoru cyklistu na fosílny pohon podobná účinnosti motoru auta na fosílny pohon. A to je podobná. Pomer je:

$$\frac{\text{energia bicykla / vzdialenosť}}{\text{energia auta / vzdialenosť}} = \frac{c_d^{\text{bicykel}} \cdot A_{\text{bicykel}} \cdot v_{\text{bicykel}}^2}{c_d^{\text{auto}} \cdot A_{\text{auto}} \cdot v_{\text{auto}}^2}.$$

### KOEFICIENTY ODPORU

#### AUTÁ

Honda Insight	0,25
Prius	0,26
Renault 25	0,28
Honda Civic (2006)	0,31
VW Polo GTi	0,32
Peugeot 206	0,33
Ford Sierra	0,34
Audi TT	0,35
Honda Civic (2001)	0,36
Citroën 2CV	0,51
Cyklista	0,9
Diaľkový autobus	0,425

#### LIETADLÁ

Cessna	0,027
Learjet	0,022
Boeing 747	0,031

#### ČELNÉ PLOCHY (m<sup>2</sup>)

Land Rover Discovery	1,6
Volvo 740	0,81
<b>Typické auto</b>	<b>0,8</b>
Honda Civic	0,68
VW Polo GTi	0,65
Honda Insight	0,47

Tabuľka A.7 Koeficienty jazdného odporu a čelná plocha.

Trik, ktorý v tomto prípade využívame, sa nazýva „škálovanie“. Ak vieme, koľko energie sa spotrebuje pri danej rýchlosti a ploche, potom dokážeme vypočítať spotrebu vozidiel s celkom inými rýchlosťami a plochami. Predpokladajme, že pomer plôch je:

$$\frac{A_{\text{bicykel}}}{A_{\text{auto}}} = \frac{1}{4}$$

(4 cyklisti môžu sedieť dotýkajúc sa ramenami na šírku jedného auta.) Predpokladajme, že bicykel nemá veľmi účinný, aerodynamický tvar:

$$\frac{C_d^{\text{bicykel}}}{C_d^{\text{auto}}} = \frac{1}{3}$$

A predpokladajme, že rýchlosť bicykla je 21 km/h, takže:

$$\frac{v_{\text{bicykel}}}{v_{\text{auto}}} = \frac{1}{5}$$

Potom:

$$\frac{\text{energia bicykla/ vzdialenosť}}{\text{energia auta/ vzdialenosť}} = \frac{C_d^{\text{bicykel}} \cdot A_{\text{bicykel}} \cdot v_{\text{bicykel}}^2}{C_d^{\text{auto}} \cdot A_{\text{auto}} \cdot v_{\text{auto}}^2} = \left(\frac{3}{4}\right) \cdot \left(\frac{1}{5}\right)^2 = \frac{3}{100}$$

Takže cyklista pri 21 km/h spotrebuje na rovnakú vzdialenosť približne 3 % energie v porovnaní s vodičom auta na ceste – približne **2,4 kWh na 100 km**.

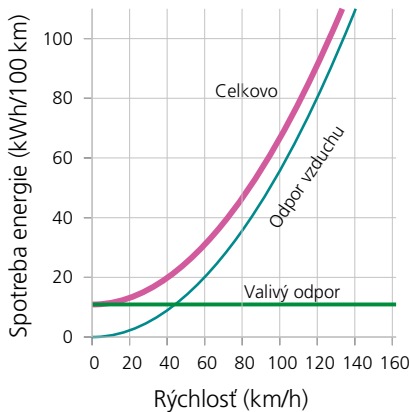
Ak chcete vozidlo, ktorého účinnosť je 30-násobne vyššia ako v prípade auta, je to jednoduché – používajte bicykel.

*A čo valivý odpor?*

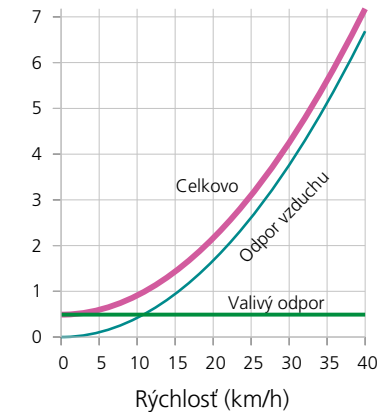
Dosiaľ sme úplne ignorovali energiu, ktorú spotrebujú pneumatiky a ložiská auta; energiu, ktorá sa premieňa na hluk kolies pri dotyku s asfaltom; energiu, ktorá spôsobuje opotrebovávanie pneumatík a energiu, ktorá spôsobuje vibrácie vozovky. Súhrne sa tieto formy spotreby energie nazývajú valivý odpor. Štandardný model valivého odporu tvrdí, že valivý odpor je jednoducho proporcionálne závislý od hmotnosti vozidla a nezávislý od rýchlosti vozidla. Konštanta proportionality sa nazýva koeficient valivého odporu a označuje sa  $C_{rr}$ . Tabuľka A.8 zachytáva niektoré typické hodnoty koeficientu valivého odporu.

Tabuľka A.8 Valivý odpor je rovný hmotnosti vozidla vynásobenej koeficientom jazdného odporu  $C_{rr}$ . Jazdný odpor zahŕňa silu, ktorú spôsobuje pružnosť kolesa, straty trenia v ložiskách kolesa, trasením a vibráciami vozovky a vozidla (vrátane energie, ktorú spotrebujú tlmíče vozidla) a klzanie kolies po vozovke, resp. po koľajniciach. Koeficient sa mení v závislosti od kvality vozovky, od kvality materiálu kolies a od ich teploty. Uvedené čísla predpokladajú hladký povrch vozovky [2bhu35].

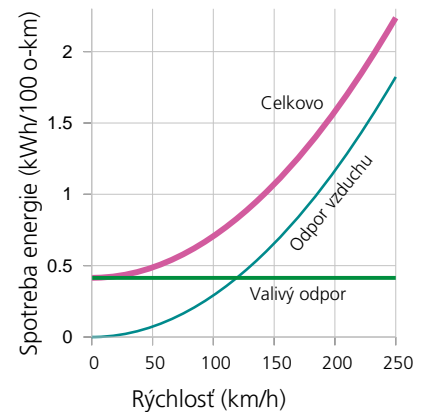
Koleso	$C_{rr}$
Vlak (kov na kov)	0,002
Pneumatika bicykla	0,005
Pneumatika nákladného auta	0,007
Pneumatika osobného auta	0,010



Obrázok A.9 Jednoduchá teória spotreby paliva v aute (energia/vzdialenosť) pri jazde nemennou rýchlosťou. Predpoklady: spaľovací motor auta využíva energiu s účinnosťou 25 % pri akejkolvek rýchlosti;  $c_d \cdot A_{\text{auto}} = 1 \text{ m}^2$ ;  $m_{\text{auto}} = 1\,000 \text{ kg}$  a  $C_{rr} = 0,01$ .



Obrázok A.10 Jednoduchá teória spotreby energie pri jazde bicyklom (energia/vzdialenosť). Na vertikálnej osi je energia spotrebovaná v kWh na 100 km. Predpoklady: motor bicyklu (to ste vy!) využíva energiu s účinnosťou 25 %; čelná plocha cyklistu je  $0,75 \text{ m}^2$ ; hmotnosť cyklistu a bicyklu je  $90 \text{ kg}$  a  $C_{rr} = 0,005$ .



Obrázok A.11 Jednoduchá teória spotreby energie vlaku na 1 pasažiera vo vlaku s 8 vagónmi a 584 pasažiermi. Na vertikálnej osi je spotrebovaná energia v kWh na 100 km. Predpoklady: motor vlaku využíva energiu s účinnosťou 90 %;  $c_d \cdot A_{\text{vlak}} = 11 \text{ m}^2$ ;  $m_{\text{vlak}} = 400\,000 \text{ kg}$  a  $C_{rr} = 0,002$ .

Koeficient valivého odporu auta je približne 0,01. Vplyv takéhoto jazdného odporu je rovnaký ako neprestajná jazda do kopca s naklonením jedna ku sto. Takže jazdné trenie je približne 100 N/t, nezávisle od rýchlosti. Overiť si to možno tlačéním jednotonového auta po rovnej ceste. V prípade, keď s ním dokážete pohnúť, zistíte, že ho potom môžete udržať v pohybe jednou rukou. (100 N je tiaž 100 jablk). Takže pri rýchlosti 31 m/s je potrebný výkon na prekonanie jazdného odporu jednotonového vozidla

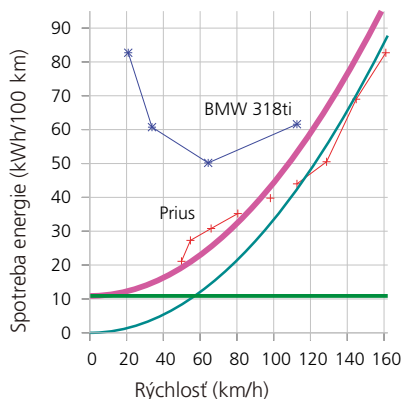
$$\text{sila} \cdot \text{rýchlosť} = (100 \text{ N}) \cdot (31 \text{ m/s}) = 3\,100 \text{ W};$$

v prípade motora s účinnosťou 25 % potrebujeme 12 kW príkonu motora. Príkon potrebný na prekonanie odporu vzduchu sme vypočítali na strane 256 na 80 kW. Takže pri vysokej rýchlosti potrebujeme približne 15 % výkonu na prekonanie jazdného odporu.

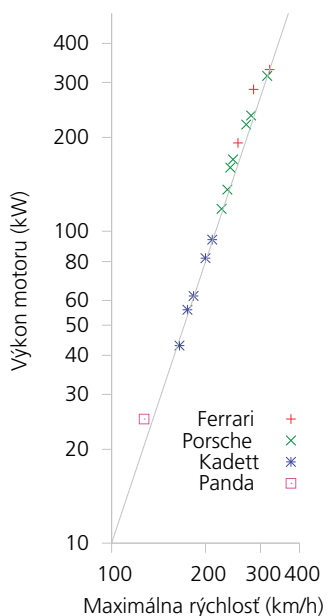
Obrázok A.9 ukazuje teóriu spotreby paliva (energia na jednotku vzdialenosti) ako funkciu konštantnej rýchlosti, keď dáme spolu odpor vzduchu a valivý odpor.

Rýchlosť, pri ktorej sa valivý odpor auta rovná odporu vzduchu, udáva vzorec

$$C_{rr} \cdot m_c \cdot g = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_d \cdot A \cdot v^2,$$



Obrázok A.12 Spotreba paliva súčasných automobilov nerastie ako druhá mocnina rýchlosti. Údaje o aute Prius sú od B. Z. Wilsona; údaje o BMW sú od Phila C. Stuarta. Hladká krivka ukazuje, ako vyzerá nárast spotreby energie so zodpovedajúcim nárastom rýchlosti pri predpoklade čelnej plochy  $0,6 \text{ m}^2$ .



Obrázok A.13 Výkony automobilov (kW) versus ich maximálne rýchlosti (km/h). Obe miery sú logaritmické. Výkon sa zvyšuje treťou mocninou rýchlosti. Dvojnásobná rýchlosť si vyžaduje osemnásobne vyšší výkon. Podľa Tennekes (1997).

kde

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{C_{rr} \cdot m_c \cdot g}{\rho \cdot C_d \cdot A}} = 13 \text{ m/s.}$$

### Bicykle

V prípade bicykla ( $m = 90 \text{ kg}$ ,  $A = 0,75 \text{ m}^2$ ) sa prechod medzi rozhodujúcim vplyvom valivého odporu a dominujúcim vplyvom odporu vzduchu odohráva pri rýchlosti  $12 \text{ km/h}$ . Pri rýchlosti  $20 \text{ km/h}$  je spotreba približne **2,2 kWh na 100 km**. Ak by sme ešte zvýšili aerodynamickú polohu cyklistu, môžeme znížiť čelnú plochu, a tým znížiť spotrebu energie na približne  $1,6 \text{ kWh}$  na  $100 \text{ km}$ .

### Vlaky

V prípade vlaku s ôsmimi vagónmi, ako ukazuje obrázok A.11 ( $m = 400\,000 \text{ kg}$ ,  $A = 11 \text{ m}^2$ ), je rýchlosť, pri ktorej sa zvýši odpor vzduchu nad valivý odpor,

$$v = 33 \text{ m/s} = 74 \text{ míľ za hodinu.}$$

V prípade vlaku s jedným vozňom ( $m = 50\,000 \text{ kg}$ ,  $A = 11 \text{ m}^2$ ) je táto rýchlosť

$$v = 12 \text{ m/s} = 26 \text{ míľ za hodinu}$$

### Závislosť príkonu od rýchlosti

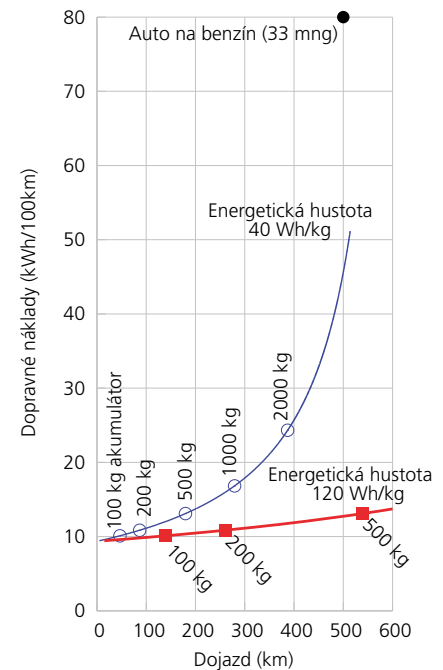
Ak poviem, že znížením rýchlosti na polovicu je možné znížiť spotrebu paliva na *jednu štvrtinu*, ľudia často neveria. Poznamenajú, že väčšina motorov áut má optimálne otáčky a možnosť voľby rôznych rýchlostí auta zabezpečí optimálnu účinnosť spotreby paliva. Ak môj pokus, v ktorom navrhujem znížiť rýchlosť auta o polovicu, spôsobí, že auto sa dostane mimo svojho plánovaného rozsahu rýchlostí, spotreba nemusí klesnúť až štvornásobne. Môj nevyhovený predpoklad znie, že účinnosť motora je rovnaká pri všetkých rýchlostiach a nákladoch, čo znamená, že je vždy dobré jazdiť pomalšie. Ak však účinnosť motora pri nižších rýchlostiach klesá, potom tá najlepšia rýchlosť môže byť pri strednej rýchlosti, ktorá je kompromisom medzi pomalou jazdou a zachovaním optimálnej účinnosti spaľovania paliva. Pre BMW 318ti na obrázku A.12 je optimálna rýchlosť približne  $60 \text{ km/h}$ . Ale ak by sa celá spoločnosť dohodla, že rýchlosti áut by mali byť nižšie, nie je problém prerobiť motory a prevodovky tak, aby sa dosiahla maximálna účinnosť pri požadovanej rýchlosti. Ďalší dôkaz, že potrebný výkon motora sa zvyšuje treťou mocninou rýchlosti, vidieť na obr. A.13; zachytáva nárast výkonu v závislosti od maximálnych rýchlostí rôznych automobilov. Čiara znázorňuje závislosť medzi výkonom a treťou mocninou rýchlosti.

### Elektrické automobily: je dojazd problém?

Ľudia často hovoria, že elektromobily nedosahujú dostatočný dojazd. Zástancovia elektromobilov zasa hovoria: „Žiadny problém, môžeme do nich vložiť viac akumulátorov.“ A majú pravdu. Potrebujeme však zistiť, aký vplyv má pridanie ďalších akumulátorov na spotrebu energie. Odpoveď závisí hlavne od koncentrácie energie (hustota energie), s ktorou sa uvažuje pri akumulátoroch: pri hustote energie 40 Wh/kg (typické olovené akumulátory) uvidíme, že prekonať dojazd 200 až 300 km je ťažké, ale pri hustote energie 120 Wh/kg (typické lítiové akumulátory), je aj dojazd 500 km ľahko dosiahnuteľný.

Predpokladajme, že hmotnosť automobilu s cestujúcimi je 740 kg bez akýchkoľvek akumulátorov. Postupne budeme pridávať akumulátory s hmotnosťou 100 kg, 200 kg, 500 kg alebo možno 1 000 kg. Predpokladajme typickú rýchlosť 50 km/h, čelnú plochu 0,8 m<sup>2</sup>, jazdný odpor 0,01, vzdialenosť medzi dvoma zastaveniami 500 km, účinnosť motora 85 % a predpokladajme, že pri zastavovaní a štartovaní obnoví rekuperácia polovicu kinetickej energie automobilu. Predpokladajme, že nabíjanie automobilu z elektrickej siete má účinnosť 85 %. Obrázok A.14 ukazuje dopravné náklady auta proti jeho dojazdu pri rozličných akumulátoroch. Horná krivka zobrazuje výsledok pre akumulátory, ktorých hustota energie je 40 Wh/kg (zastarané olovené akumulátory). Dojazd limituje hranica približne 500 km. Na to, aby sme sa priblížili k tomuto maximu, by sme potrebovali absurdne veľké množstvo akumulátorov: napr. pre dojazd 400 km potrebujeme 2 000 kg akumulátorov a dopravné náklady prekračujú 25 kWh na 100 km. Ak chceme dosiahnuť dojazd 180 km, potrebujeme 500 kg akumulátorov. Výsledky sú oveľa lepšie, ak berieme do úvahy ľahšie lítiové akumulátory. Pri hustote energie 120 Wh/kg, elektromobily s akumulátormi s hmotnosťou 500 kg ľahko dosahujú dojazd 500 km. Spotreba elektriny pri doprave sa odhaduje približne na 13 kWh na 100 km.

Zdá sa mi, že problém s dojazdom vyrieši až príchod moderných akumulátorov. Bolo by dobré mať ešte lepšie akumulátory, ale hustota energie 120 Wh/kg je dostatočná, ak sme spokojní s ich hmotnosťou v aute do 500 kg. V praxi si viem predstaviť, že väčšina ľudí by sa uspokojila s dojazdom 300 km, ktorý možno dosiahnuť s 250 kg akumulátormi. Ak by sme tieto akumulátory rozdelili na samostatne odpájateľné články s hmotnosťou 25 kg, používateľ automobilu by mohol mať v aute iba 4 z 10 kusov, ak by jazdil na bežnú vzdialenosť (100 kg dáva dojazd 140 km) a vzal so sebou navyše 6 kusov z nabíjacej stanice, ak by chcel ísť na dlhší výlet. Počas dlhších výletov by vymenil akumulátory za čerstvo nabitú zostavu vo výmennej stanici približne každých 300 km.



Obrázok A.14 Teória dojazdu elektromobilu (horizontálna os) a dopravných nákladov (vertikálna os) ako funkcia hmotnosti akumulátorov pre dve rôzne technológie. Auto s 500 kg starými akumulátormi s hustotou energie 40 Wh/kg má dojazd 180 km. Elektromobil s tou istou hmotnosťou, ale s modernými akumulátormi dodávajúcimi 120 Wh/kg môže mať dojazd viac ako 500 km. Obe autá by mali energetické náklady okolo 13 kWh na 100 km. Tieto čísla predpokladajú 85 % účinnosť nabíjania akumulátorov.

[Mng = mpg (miles-per-galon) vyjadruje počet prejdenej míľ pri spotrebovaní paliva s objemom jeden galón (4,54 litrov) – pozn. prekl.]



Obrázok A.15 Wartsila-Sulzer RTA96-C  
14-cylindrový dvojtaktný naftový motor.  
27 metrov dlhý a 13,5 metra vysoký.  
<http://www.wartsila.com/>.

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

**256** *Typické benzínové motory majú účinnosť približne 25 %.* Podľa Encarty [6by8x] „účinnosť dobrého, moderného motora s Ottovým cyklom je v rozsahu 20 - 25 %“. Benzínový motor Toyota Prius, preslávený jedným z najúčinnnejších motorov, využíva Atkinsonov cyklus namiesto Ottovho cyklu. Maximálny výkon je 52 kW a jeho účinnosť je 34 % pri 10 kW [348whs]. Najlepší naftový motor na svete má účinnosť 52 %, ale pre autá sa nehodí, pretože má hmotnosť 2 300 t: Wartsila-Sulzer RTA96-C turbonaftový motor (obr. A.15) je určený pre kontajnerové lode a má výkon 80 MW.

- *Rekuperácia energie pri brzdení znamená zníženie strát energie počas brzdenia približne na polovicu.* Zdroj: E4tech (2007).

**257** *Elektrické motory môžu byť približne osemkrát ľahšie ako benzínové motory.* Štvortaktný benzínový motor má pomer medzi výkonom a hmotnosťou zhruba 0,75 kW/kg. Najlepšie elektrické motory majú účinnosť 90 % a pomer medzi výkonom a hmotnosťou 6 kW/kg. Ak nahradíme benzínový motor s výkonom 75 kW elektrickým motorom toho istého výkonu, ušetríme 85 kg hmotnosti. Nanešťastie, pomer medzi výkonom a hmotnosťou akumulátora je okolo 1 kW na kg. Čo elektromobil získa na motore, stratí na akumulátoroch.

**259** *Motor na bicykli využíva energiu s účinnosťou 25 %.* Tento a ďalšie predpoklady o cyklistike potvrdil di Prampera a kol. (1979). Brzdná (čelná) plocha cyklistu v pretekárskej polohe je  $c_d \cdot A = 0,3 \text{ m}^2$ . Valivý odpor cyklistu na vysokokvalitnej cyklistickej dráhe (celková hmotnosť 73 kg) je 3,2 N.

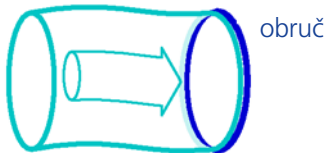
**260** *Obrázok A.12.* Údaje pre Prius sú od B. Z. Wilsona [<http://home.hiwaay.net/bzwilson/prius/>]. Údaje pre BMW sú od Phila C. Stuarta [<http://www.randomuseless.info/318ti/economy.html>].

Ďalšie čítanie: Gabrielli a von Kármán (1950).

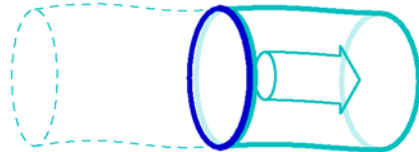
## B Vietor II

### Fyzika práce vetra

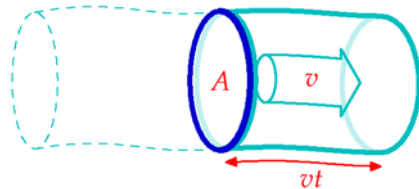
Aby sme odhadli energiu vetra, predstavme si obruč s plochou  $A$ , lemujúcu vietor, ktorého rýchlosť je  $v$ . Uvažujme s vetrom, ktorý prechádza cez túto obruč za 1 sekundu. Nižšie je znázornený obrázok tejto masy vetra, ktorá je práve pred prechodom obruče:



Tu je obrázok tej istej masy vetra o sekundu neskôr za obručou:



Hmotnosť tohto množstva vetra je výsledkom jeho hustoty  $\rho$ , jeho plochy  $A$  a jeho dĺžky, ktorá je  $v \cdot t$ , kde  $t$  je 1 s.



Kinetická energia tohto množstva vetra je

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v \cdot t \cdot v^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot t \cdot v^3. \quad (\text{B.1})$$

Takže výkon vetra pre plochu  $A$ , t. j. kinetická energia prechádzajúca cez plochu za jednotku času je

$$\frac{\frac{1}{2} m \cdot v^2}{t} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3. \quad (\text{B.2})$$

Tento vzorec sa vám môže zdať povedomý – rovnaké vyjadrenie sme odvodili na strane 255, keď sa hovorilo o výkone potrebnom na pohon automobilu.

Aká je typická rýchlosť vetra? Počas veterného dňa cyklista skutočne postrehne smer vetra; ak vám vietor fúka od chrbta, môžete ísť oveľa



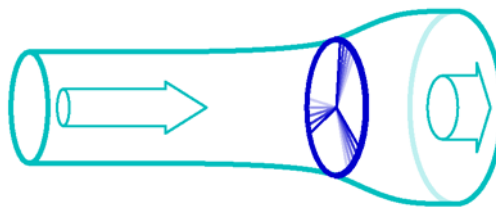
Znovu používam tento vzorec:

hmotnosť = hustota × objem

Míle/h	km/h	m/s	Beaufortova stupnica
2,2	3,6	1	silá 1
7	11	3	silá 2
11	18	5	silá 3
13	21	6	silá 4
16	25	7	silá 5
22	36	10	silá 6
29	47	13	silá 7
36	58	16	silá 8
42	68	19	silá 9
49	79	22	silá 10
60	97	27	silá 11
69	112	31	silá 12
78	126	35	silá 13

Tabuľka B.1 Závislosť sily vetra od jeho rýchlosti.

Obrázok B.2 Tok vetra prechádza cez veterný mlyn. Ten ho spomaľuje a zároveň rozptyľuje.



rýchlejšie ako obvykle. Rýchlosť takéhoto vetra je preto porovnateľná s typickou rýchlosťou cyklistu, ktorá je povedzme 21 km/h (6 m/s). V Cambridgei má vietor takúto rýchlosť iba zriedkavo. Napriek tomu ju považujeme za typickú hodnotu pre Veľkú Britániu (a majme na pamäti, že bude potrebné naše odhady upraviť).

Hustota vzduchu je okolo 1,3 kg/m<sup>3</sup> (ja obvyčajne zaokrúhľujem túto hodnotu na 1 kg/m<sup>3</sup>, čo je ľahšie zapamätateľné, hoci teraz som to neurobil). Typický výkon vetra na štvorcový meter obruče v tom prípade je

$$\frac{1}{2} \rho \cdot v^3 = \frac{1}{2} \cdot 1,3 \text{ kg/m}^3 \cdot (6 \text{ m/s})^3 = 140 \text{ W/m}^2. \quad (\text{B.3})$$

Veterná turbína však nevyužije všetku túto energiu. Hoci turbína vzduch značne spomaľuje, musí zanechať aj vzduch s *nejakou* kinetickou energiou. Na obrázku B.2 je náčrtok toku vetra prechádzajúceho veternou turbínou. Maximálny podiel prichádzajúcej energie, ktorú disk tvaru veterného mlyna môže využiť, definoval nemecký fyzik Albert Betz v roku 1919. Ak odchádzajúca rýchlosť vetra predstavuje jednu tretinu prichádzajúcej rýchlosti vetra, výkon turbíny je 16/27 z celkového príkonu vetra, t. j. 0,59. V praxi odhadujeme, že veterné turbíny môžu mať účinnosť 50 %. Skutočné veterné turbíny sú konštruované len na určité rozpätie rýchlosti vetra. Ak je rýchlosť vetra podstatne vyššia ako ideálna rýchlosť, je potrebné turbínu odstaviť.

Ako modelový príklad predpokladajme priemer  $d = 25 \text{ m}$  a výšku stožiaru 32 m, čo je zhruba veľkosť osamotených veterných turbín nad mestom Wellington, Nový Zéland (obr. B.3). Výkon jednej veternej turbíny je

účinnosť  $\times$  príkon na jednotku plochy  $\times$  plocha

$$= 50 \% \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad (\text{B.4})$$

$$= 50 \% \cdot 140 \text{ W/m}^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (25 \text{ m})^2 \quad (\text{B.5})$$

$$= 34 \text{ kW}. \quad (\text{B.6})$$



Obrázok B.3 Brooklynova veterná turbína nad Wellingtonom, Nový Zéland, s ľuďmi stojacimi pri základni. Počas veterného dňa táto turbína dosahovala výkon 60 kW a tak produkovala 1 400 kWh/deň. Fotografia: Philip Banks.

A naozaj, keď som navštívil túto veternú turbínu počas veľmi veterného dňa, jej merač ukazoval výkon 60 kW.

Na to, aby sme odhadli, aký výkon dokážeme získať z vetra, potrebujeme rozhodnúť, aké veľké budú naše veterné turbíny a ako blízko k sebe ich môžeme umiestniť.



Ako nahusto by mali byť veterné turbíny? Tie, ktoré sú príliš blízko a proti vetru, budú tieniť tým, ktoré sú v smere vetra. Podľa expertov by veterné turbíny nemali byť k sebe bližšie ako na pätnásobok svojho priemeru, ak nemá dôjsť k významnej strate výkonu. Výkon na jednotku plochy, ktorý pri tejto vzdialenosti dokážu turbíny zabezpečiť, je

$$\frac{\text{výkon na jednu turbínu (B.4)}}{\text{plocha na jednu turbínu}} = \frac{\frac{1}{2} \rho \cdot v^3 \cdot \frac{\pi}{8} \cdot d^2}{(5d)^2} \quad (\text{B.7})$$

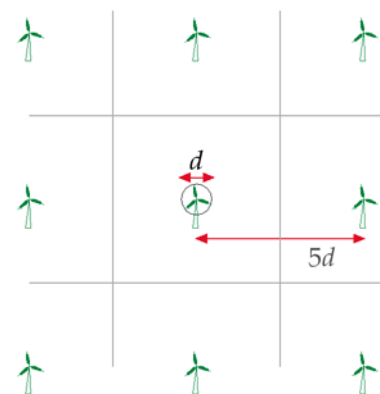
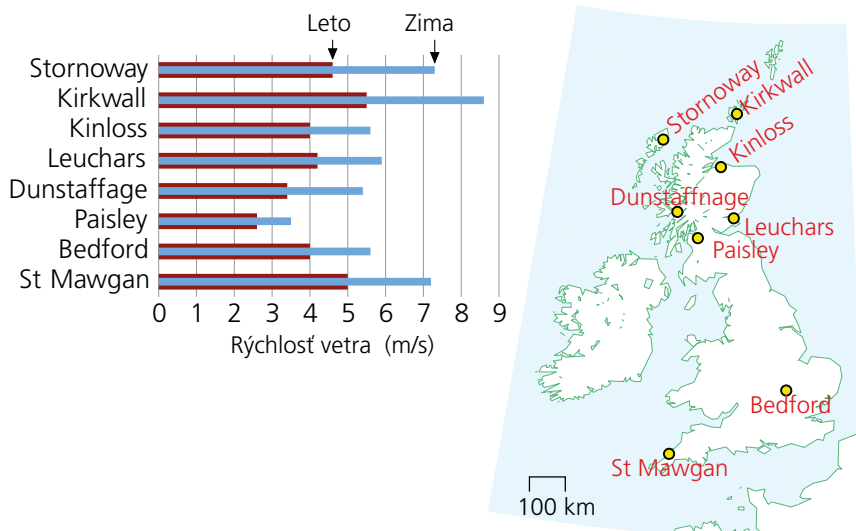
$$= \frac{\pi}{200} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \quad (\text{B.8})$$

$$= 0,016 \cdot 140 \text{ W/m}^2 \quad (\text{B.9})$$

$$= 2,2 \text{ W/m}^2. \quad (\text{B.10})$$

Toto číslo je dobré si zapamätať: pri rýchlosti vetra 6 m/s produkuje veterný park na jeden m<sup>2</sup> plochy zeme výkon 2 W. Uvedomme si, že náš výsledok nezávisí od priemeru veternej turbíny. Priemery sú vykrátené, pretože väčšie veterné turbíny musia byť ďalej od seba. Väčšie veterné turbíny môžu byť vhodné, ak chceme zachytiť silnejší vietor vo vyšších výškach (čím vyššia veterná turbína, tým rýchlejší vietor zachytáva) alebo pre úsporu priestoru. Toto sú však jediné dôvody, pre ktoré sa uprednostňujú vysoké veterné turbíny.

Tento výpočet závisí od nami odhadovanej rýchlosti vetra. Je rýchlosť 6 m/s prijateľná pri dlhodobých meraniach vetra vo Veľkej Británii? Obrázky 4.1 a 4.2 znázorňujú rýchlosti vetra v Cambridgei a v Cairngorme. Obrázok B.6 zobrazuje priemernú rýchlosť vetra v zime a počas leta v ďalších ôsmich lokalitách. Obávam sa, že rýchlosť 6 m/s bola nadhodnotená, pretože typické rýchlosti na väčšine území Veľkej Británie sú nižšie!



Obrázok B.4 Náčrt rozmiestnenia veterných parkov.

VÝKON NA PLOCHU	
Veterný park (rýchlosť 6 m/s)	2 W/m <sup>2</sup>

Tabuľka B.5 Fakty, ktoré sa oplatí zapamätať: veterné parky.

Obrázok B.6 Priemerná rýchlosť vetra v lete (tmavé stĺpce) a priemerná rýchlosť vetra v zime (svetlé stĺpce) v ôsmich lokalitách Veľkej Británie. Rýchlosti boli merané pri štandardnej výške 10 m. Priemery sú za obdobie od roku 1971 do roku 2000.

Ak vymeníme vo výpočtoch predošlých 6 m/s za 4 m/s v Bedforde, musíme znížiť náš odhad vynásobením s  $(4/6)^3 \approx 0,3$  (zapamätajte si, že výkon závisí od tretej mocniny rýchlosti vetra).

Na druhej strane na výpočet typického výkonu by sme nemali použiť strednú rýchlosť vetra a umocniť ju na tretiu. Lepšie je nájsť strednú hodnotu tretej mocniny vetra. Priemer tretej mocniny je vyšší ako tretia mocnina priemeru. Ale ak by sme zachádzali do týchto podrobností, veci by boli ešte komplikovanejšie, pretože reálne veterné turbíny v skutočnosti nedodávajú výkon úmerný tretej mocnине rýchlosti vetra. Namiesto toho majú iba určitý rozsah rýchlosti vetra, pri ktorom dodávajú ideálny výkon; pri nižších alebo vyšších rýchlostiach v skutočnosti dodávajú menej výkonu.

### Zmena rýchlosti vetra v závislosti od výšky

Vyššie veterné turbíny dokážu využiť väčšie rýchlosti vetra. Spôsob, akým sa zvyšuje rýchlosť vetra s výškou je komplikovaný a závisí od drsnosti okolitého terénu a od denného času. Zdvojnásobením výšky sa zvyšuje rýchlosť vetra približne o 10 %, a teda výkon sa zvyšuje o 30 %.

Niektoré štandardné vzorce, ktoré formulujú závislosť rýchlosti  $v$  ako funkciu výšky  $z$ , sú:

1. Podľa vzorca od NREL [ydt7uk], rýchlosť s mocninou výšky:

$$v(z) = v_{10} \cdot \left( \frac{z}{10 \text{ m}} \right)^\alpha,$$

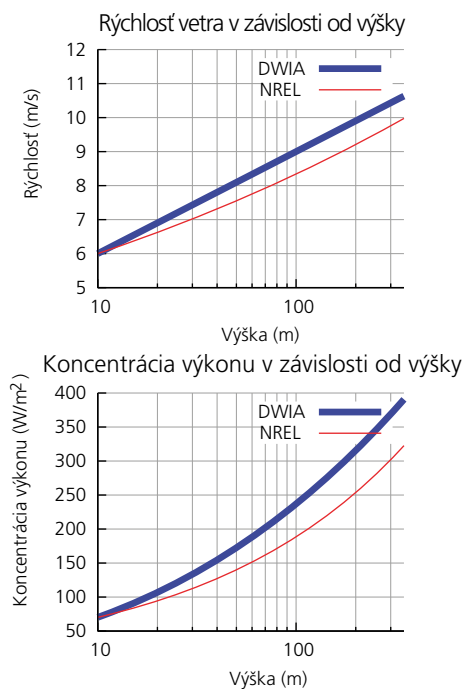
kde  $v_{10}$  je rýchlosť pri 10 m a typická hodnota exponentu  $\alpha = 0,143$  alebo  $1/7$ . Zákon jednej sedminy ( $v(z)$  je priamo úmerná k  $z^{1/7}$ ) používa napr. Elliott a kol. (1991).

2. Vzorec z Dánskej asociácie pre veterný priemysel [yaoonz] je

$$v(z) = v_{ref} \cdot \frac{\log(z / z_0)}{\log(z_{ref} / z_0)},$$

kde  $z_0$  je parameter nazývajúci sa koeficient dynamickej drsnosti povrchu [určuje mieru členitosti povrchu – pozn. prekl.] a  $v_{ref}$  je rýchlosť pri referenčnej výške  $z_{ref}$  ako napr. 10 m. Dĺžka drsnosti pre typickú krajinu (poľnohospodárska krajina s nejakými domami a s ochrannými živými plotmi v 500-metrových intervaloch – „trieda drsnosti 2“) je  $z_0 = 0,1$  m.

V praxi tieto dva vzorce dávajú podobné hodnoty. To však neznamená, že sú presné vždy. Van den Berg (2004) predpokladá, že v noci sú často veterné profily rozdielne.



Obrázok B.7 Horný obrázok: dva modely rýchlostí vetra a výkonu vetra ako funkcia výšky. DWIA = Dánska asociácia pre veterný priemysel; NREL = Národné laboratórium obnoviteľnej energie. Pre každý model bola rýchlosť pri 10 m zafixovaná na 6 m/s. Pre dánsky veterný model za sa hrubú dĺžku považuje  $z_0 = 0,1$  m.

Dolný obrázok: Konzentrácia výkonu (výkon na jednotku plochy) podľa každého z týchto modelov.



### *Štandardné vlastnosti veterných parkov*

Typická veterná turbína mala počiatkom 21. storočia priemer rotora okolo 54 m vo výške 80 m. Takýto stroj má „inštalovaný výkon“ 1 MW. „Inštalovaný“ alebo „maximálny“ výkon je najvyšší výkon, ktorý môže veterná turbína dosiahnuť v optimálnych podmienkach. Obyčajne sa veterné turbíny konštruujú na rozbehnutie pri rýchlostiach vetra okolo 3 až 5 m/s a zastavenie pri vetre 25 m/s. Aktuálny priemerný dodávaný výkon je maximálny výkon vynásobený faktorom, ktorý opisuje podiel času, počas ktorého sú veterné podmienky blízko optima. Tento faktor často nazývaný ako faktor zaťaženia (load factor) alebo faktor využitia (capacity factor), závisí od lokality; typický faktor zaťaženia veterných parkov na vhodných lokalitách Veľkej Británie je 30 %. V Holandsku je tento faktor 22 % a v Nemecku 19 %.

### *Odhady koncentrácie výkonu veterných parkov podľa iných autorov*

Podľa vládnej štúdie [<http://world-nuclear.org/policy/DTI-PIU.pdf>] sa kapacita vetra v pobrežných oblastiach Veľkej Británie odhaduje, s využitím predpokladanej koncentrácie výkonu veterných parkov, na 9 W/m<sup>2</sup> (inštalovaný, nie priemerný výkon). Ak je faktor zaťaženia 33 %, potom by bol priemerný vyrobený výkon 3 W/m<sup>2</sup>.

London Array je veterný park na mori (angl. „offshore“), plánovaný za ústím rieky Temža. Inštalovaný výkon by mal byť 1 GW, čo by z neho spravilo najväčší veterný park na svete. Kompletný veterný park bude pozostávať z 271 veterných turbín na ploche 245 km<sup>2</sup> [6o86ec] a bude dodávať priemerne 3 100 GWh za rok (350 MW) [viac ako päťnásobok technického potenciálu veternej energie na Slovensku – pozn. prekl]. Náklady na výstavbu sú 1,5 miliardy libier. Tento veterný park bude mať koncentráciu výkonu 350 MW/245 km<sup>2</sup> = 1,4 W/m<sup>2</sup>. Toto je menej ako u iných veterných parkov na mori. Podľa mňa je to preto, lebo táto lokalita zahŕňa veľký kanál (Knock Deep), príliš hlboký (okolo 20 m) na ekonomické umiestnenie veterných turbín.

Obrázok B.8 Turbína qr5 z quietrevolution.co.uk. Nie práve typická veterná turbína.



Obrázok B.9 Mikroturbína Ampair s výkonom 600 W. Priemerná energia vyrobená touto mikroturbínou v kúpeľoch v Leamingtone je 0,037 kWh za deň (1,5 W).



Obrázok B.10 Turbína Iskra s výkonom 5 kW a priemerom 5,5 pri ročnej revízii [www.iskrawind.com]. Táto turbína umiestnená v Hertfordshire (ktorý nepatrí medzi najveternejšie lokality vo Veľkej Británii), s výškou 12 m priemerne vyrobí 11 kWh za deň. Veterný park s turbínami s takouto výrobou s plochou 30 m × 30 m by mal koncentráciu výkonu 0,5 W/m<sup>2</sup>.

Viac sa obávam toho, čo tieto plány [navrhovaného veterného parku London Array] urobia s krajinou a spôsobom života na pobreží, ako som sa kedy obával invázie nacistov.

Bill Boggia z Graveney, teda z miesta, kde podmorské vedenie veterného parku vyústi na breh.

## Otázky

### A čo mikrogenerácia? Ak by ste si inštalovali tieto miniturbíny na vašu strechu, aké množstvo energie môžete takto získať?

Ak predpokladáme rýchlosť vetra 6 m/s (pričom, ako som uviedol predtým, priemerná rýchlosť pre väčšinu lokalít Veľkej Británie je nižšia) a priemer turbíny 1 m, dodávaný výkon by mal byť 50 W. To je 1,3 kWh denne, čo nie je veľmi veľa. V skutočnosti v typickej urbanizovanej lokalite Veľkej Británie dodá mikroturbína iba 0,2 kWh za deň – pozri stranu 63.

Možno najhoršie veterné turbíny na svete sú inštalované v meste Tsukuba v Japonsku, lebo v skutočnosti viac energie spotrebujú ako vyrobia. Tí, čo si tieto statické turbíny nechali nainštalovať, sa cítili natoľko trápne, že im potom dodávali energiu na to, aby turbíny vyzerali tak, že pracujú! [6bkvbn].

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

264 *Maximálny podiel energie, ktorý je možné získať z veternej turbíny...* Toto je elegantné vysvetlenie získané z webovej stránky Dánskej asociácie pre veterný priemysel [yekdaa].

267 *Obyčajne sa veternej turbíny konštruujú na rozbehnutie pri rýchlostiach vetra okolo 3 až 5 m/s* [mfbsn].

- *typický faktor využitia pre dobrú lokalitu je 30%*. V roku 2005 bol priemerný faktor zaťaženia pre všetky hlavné britské veterné parky 28 % [ypvbvd]. Ten sa mení počas roka, s najnižšími hodnotami 17 % v júni a júli. Faktor zaťaženia pre najlepšie lokality v krajine – Caithness, Orkneje a Shetlandy – bol 33 %. Faktory zaťaženia dvoch morských veterných parkov fungujúcich v roku 2005 boli 36 % pre North Hoyle (blízko severného Walesu) a 29 % pre Scroby Sands (blízko Great Yarmouth). Priemerné hodnoty faktorov zaťaženia v roku 2006 pre 10 lokalít boli: Cornwall 25 %; Mid-Wales 27 %; Cambridgeshire a Norfolk 25 %; Cumbria 25 %; Durham 16 %; južné Škótsko 28 %; Orkneje a Shetlandy 35 %; severovýchodné Škótsko 26 %; severné Írsko 31 %; moria 29 % [wbd80].

Podľa Watsona a kol. (2002) je na komerčné využitie veternej energie potrebná minimálna ročná priemerná rýchlosť vetra 7 m/s. Tieto rýchlosti dosahuje vietor na približne 33 % rozlohy Veľkej Británie.

## C Lietadlá II

*Potrebujeme zistiť, ako zefektívniť cestovanie z pohľadu spotreby energie, ako vyvinúť nové palivá, ktoré nám umožnia spaľovať menej energie a zároveň menej znečisťovať.*

Tony Blair

*Dúfať v to najlepšie nie je politika, to je ilúzia.*

Emily Armistead, Greenpeace

Aké sú základné limity cestovania lietadlami? Vyžaduje si fyzika lietania určité nevyhnutné množstvo energie na preletenú tonu/kilometer? Aká je maximálna vzdialenosť, ktorú môže prejsť 300-tonový Boeing 747? A čo kilogramový brehár čiernochvostý alebo stogramový rybár arktický?

Tak ako v kapitole 3, v ktorej sme odhadli spotrebu áut, nasledovanej kapitolou A, ktorá ponúkla model, kde sa premieňa energia v aute, táto kapitola dopĺňa kapitolu 5. Rozoberá, kde sa premieňa energia v lietadlách. Jediná fyzika, ktorú budeme potrebovať, sú Newtonove zákony pohybu, ktoré vo vhodnom momente opíšem.

Táto diskusia nám umožní odpovedať na otázky typu: „Môže let spotrebovať oveľa menej energie, ak cestujeme pomalými vrtuľovými lietadlami?“ Neskôr bude nasledovať množstvo vzorcov. Dúfam, že vás to bude baviť!

### Ako lietať

Lietadlá (a vtáky) sa pohybujú vzduchom, rovnako ako autá a vlaky ich brzdia odpor prostredia. Veľa energie sa spotrebuje na pohon lietadla proti tejto sile. Navyše, na rozdiel od áut a vlakov, lietadlá musia miasť energiu aj na udržanie sa vo vzduchu.

Lietadlá sa udržiavajú vo vzduchu pretlakom pod krídlami a súčasne podtlakom nad krídlami. Vytváraný pretlak pod krídlami lietadlá vytláča smerom hore (tak ako hovorí Newtonov tretí zákon). Kým je tento tlak smerujúci nahor, nazývaný vztlak, dostatočne veľký na vyrovnanie tiaže lietadla, ktorá smeruje nadol, odoláva lietadlo tomu, aby sa zrútilo.

Keď lietadlo stláča vzduch dole, odovzdáva mu kinetickú energiu. Takže vytváranie vztlaku si vyžaduje energiu. Celkový výkon, ktorý lietadlo potrebuje, je sumou výkonu potrebného na vztlak a výkonu potrebného na prekonanie ťahu. (Mimochodom výkon potrebný na vytvorenie zdvihu sa obyčajne nazýva „vyvolaný odpor“, ale ja budem tento výkon nazývať vztlakový výkon,  $P_{\text{vztlak}}$ .)

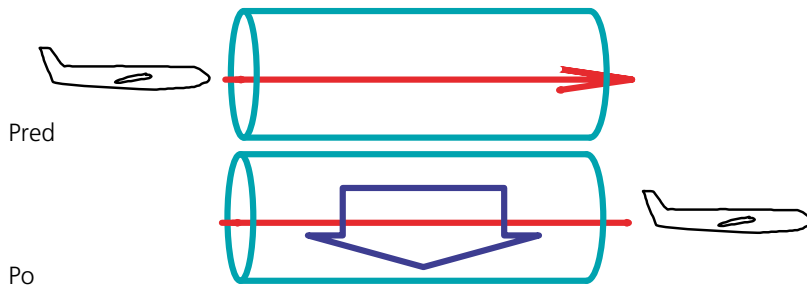
Dve rovnice, ktoré budeme potrebovať na pochopenie teórie lietania, sú druhý Newtonov zákon:

$$\text{сила} = \text{časová zmena hybnosti}, \quad (\text{C.1})$$

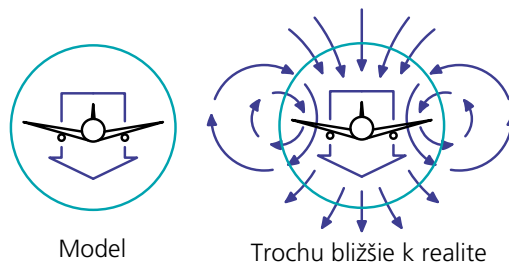


Obrázok C.1 Vtáky: dva rybáre arktické, brehár čiernochvostý a Boeing 747.

Obrázok C.2 Lietadlo prichádza do trubice nehybného vzduchu. Keď lietadlo preletí vzduchom, vzduch je ním tlačенý nadol. Veľkosť sily, ktorou pôsobí lietadlo na vzduch a dáva ho dole, je rovná a opačná veľkosti sily vzduchu tlačiaceho lietadlo hore.



Obrázok C.3 Náš model predpokladá, že lietadlo zanecháva za sebou trubicu vzduchu klesajúcu dole v jeho brázde. Reálny model zahŕňa zložitejšie vírenie vzduchu. Ako je to v skutočnosti, pozri obr. C.4.



a tretí Newtonov zákon, ktorý som už spomenul:

$$\text{sila pôsobiaca na A od B} = - \text{sila pôsobiaca na B od A.} \quad (\text{C.2})$$

Ak sa vám nepáčia vzorce, môžem už teraz prezradiť zámer: na nasledujúcich riadkoch zistíme, že výkon potrebný na vytvorenie vzlaku sa musí rovnať výkonu potrebnému na prekonanie odporu vzduchu. Takže na to, aby sme „zostali hore“, potrebujeme dvojnásobný výkon.

Vytvoríme model zdvihovej sily pre lietadlo pohybujúce sa rýchlosťou  $v$ . Za čas  $t$  preletí lietadlo vzdialenosť  $v \cdot t$  a zanechá za sebou trubicu vzduchu padajúceho dole (obr. C.2). Prierez plochy tejto trubice označíme  $A_S$ . Priemer trubice je približne rovný rozpätiu krídel lietadla  $w$  (v rámci tejto rozsiahlej trubice je malá trubica turbulentne sa víriaceho vzduchu s prierezom rovnajúcim sa približne čelnej ploche lietadla). Podrobnosti prúdenia vzduchu sú omnoho zaujímavejšie ako ukazuje obrázok trubice: pri lete lietadla sa v skutočnosti v jeho okolí víri vzduch podľa obrázka C.3 a C.4. Vzduch idúci nahor využívajú vtáky letiace v určitom usporiadaní: kúsok za špičkou vtáčieho krídla je ten vhodný, hore idúci ťah. Vráťme sa však späť k našej trubici.

Hmotnosť trubice je

$$m_{\text{trubica}} = \text{ hustota} \cdot \text{objem} = \rho \cdot v \cdot t \cdot A_S. \quad (\text{C.3})$$

Predpokladajme, že celá trubica klesá dole rýchlosťou  $u$  a vyrátajme, aká  $u$  je potrebná na to, aby sila zdvihu sa rovnala tiaži lietadla  $m \cdot g$ . Dole smerovaná hybnosť trubice za čas  $t$  je

$$\text{hmotnosť} \cdot \text{rýchlosť} = m_{\text{trubica}} \cdot u = \rho \cdot v \cdot t \cdot A_S \cdot u. \quad (\text{C.4})$$



Obrázok C.4 Vzduch prúdiaci za lietadlom. Fotografia: NASA Langley Research Center.

Podľa Newtonových zákonov sa toto musí rovnať hybnosti dodanej tiažou lietadla za čas  $t$ :

$$m \cdot g \cdot t \quad (\text{C.5})$$

Úpravou tejto rovnice:

$$\rho \cdot v \cdot t \cdot A_s \cdot u = m \cdot g \cdot t, \quad (\text{C.6})$$

môžeme získať požadovanú rýchlosť klesajúcej trubice

$$u = \frac{m \cdot g}{\rho \cdot v \cdot A_s}.$$

Zaujímavé! Rýchlosť trubice je nepriamo úmerná rýchlosti lietadla  $v$ . Pomaly letiace lietadlo tlačí vzduch smerom nadol viac ako rýchle letiace lietadlo, pretože stretne menšie množstvo vzduchu za jednotku času. Preto pristávajúce lietadlá, ktoré letia pomaly, musia vysunúť klapky: vytvárajú tak väčšie a strmšie krídlo, ktoré viac odkláňa vzduch.

Aká je spotreba energie stláčajúca trubicu dole pri potrebnej rýchlosti  $u$ ? Potrebný výkon je

$$P_{\text{vztlak}} = \frac{\text{kinetická energia trubice}}{\text{čas}} \quad (\text{C.7})$$

$$= \frac{1}{t} \frac{1}{2} m_{\text{trubica}} \cdot u^2 \quad (\text{C.8})$$

$$= \frac{1}{2t} \rho \cdot v \cdot t \cdot A_s \cdot \left( \frac{m \cdot g}{\rho \cdot v \cdot A_s} \right)^2 \quad (\text{C.9})$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{(m \cdot g)^2}{\rho \cdot v \cdot A_s}. \quad (\text{C.10})$$

Celkový výkon potrebný na udržanie lietadla v chode je sumou hnacieho výkonu a zdvihového výkonu:

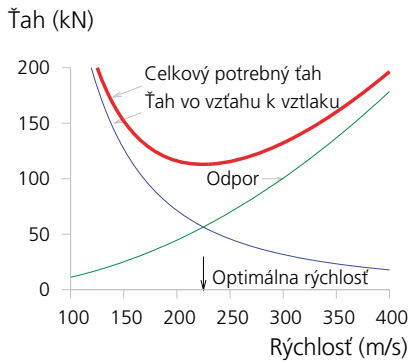
$$P_{\text{celkový}} = P_{\text{hnací}} + P_{\text{zdvihový}} \quad (\text{C.11})$$

$$= \frac{1}{2} c_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot v^3 + \frac{1}{2} \cdot \frac{(m \cdot g)^2}{\rho \cdot v \cdot A_s}, \quad (\text{C.12})$$

kde  $A_p$  je čelná plocha lietadla a  $c_d$  je jeho koeficient odporu (koeficient ťahu), tak ako v kapitole A.

Palivová účinnosť lietadla vyjadrená ako energia na prejdenú vzdialenosť by bola

$$\frac{\text{energia}}{\text{vzdialenosť}} \Big|_{\text{ideál}} = \frac{P_{\text{total}}}{v} = \frac{1}{2} \cdot c_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{(m \cdot g)^2}{\rho \cdot v^2 \cdot A_s}, \quad (\text{C.13})$$



Obrázok C.5 Sila potrebná na udržanie lietadla v pohybe ako funkcia jej rýchlosti v je sumou hnacej sily, ktorá sa s rýchlosťou zvyšuje, a sily potrebnej na vztlak (tiež známej ako indukovaný ťah),

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{(m \cdot g)^2}{\rho \cdot v^2 \cdot A_s}$$

ktorá sa s rýchlosťou znižuje. Existuje ideálna rýchlosť  $v_{opt}$ , pri ktorej je požadovaná sila minimalizovaná. Sila je energia na vzdialenosť, takže minimalizovanie sily tiež minimalizuje náklady na vzdialenosť. Ak chcete optimalizovať spotrebu paliva, leťte rýchlosťou  $v_{opt}$ . Tento graf zobrazuje náš model, ktorý odhaduje celkovú silu v kN pre Boeing 747 s hmotnosťou 319 t, rozpätím krídel 64,4 m, odporovým koeficientom 0,03 a čelnou plochou 180 m<sup>2</sup>, letiacim vo vzduchu s hustotou 0,41 kg/m<sup>3</sup> (hustota pri výške 10 km) ako funkciu jeho rýchlosti  $v$  v metroch za sekundu. Náš model stanovil optimálnu rýchlosť  $v_{optimálna} = 220$  m/s.

ak by lietadlo premenilo všetku chemickú energiu vo svojom palive na hnaciu a zdvihový výkon. (Iný názov pre „energii na prejdenu vzdialenosť“ je „sila“ a môžeme si vyššie všimnúť dva výrazy: hnacia sila  $\frac{1}{2}c_d\rho A_p v^2$  a zdvihová sila  $\frac{1}{2}(mg)^2/(\rho v^2 A_s)$ ). Sumou je sila alebo „ťah“, od ktorého závisí, ako veľmi musia pracovať motory lietadla).

Skutočný prúdový motor má účinnosť okolo  $\varepsilon = 1/3$ , takže energia na vzdialenosť lietadla letiaceho rýchlosťou  $v$  je

$$\frac{\text{energia}}{\text{vzdialenosť}} = \frac{1}{\varepsilon} \left( \frac{1}{2} \cdot c_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{(m \cdot g)^2}{\rho \cdot v^2 \cdot A_s} \right). \quad (\text{C.14})$$

Táto energia na vzdialenosť je dosť komplikovaná, ale značne sa zjednoduší, ak predpokladáme, že lietadlo je navrhnuté na let pri rýchlosti, ktorá túto energiu minimalizuje. Energiu na vzdialenosť vieme vyjadriť ako funkciu rýchlosti (obr. C.5). Suma dvoch výrazov uvedených v zátvorke v rovnici C.14 je najmenšia, ak sa tieto dva výrazy rovnajú. Tento fenomén je vo fyzike a v technike veľmi bežný: dve veci, ktoré vôbec nemusia byť rovnaké, v skutočnosti rovnaké sú, alebo je ich pomer menší ako dva.

Takže princíp rovnosti nám vyjadruje optimálnu rýchlosť lietadla takto:

$$c_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot v^2 = \frac{(m \cdot g)^2}{\rho \cdot v^2 \cdot A_s}, \quad (\text{C.15})$$

to znamená

$$\rho \cdot v_{opt}^2 = \frac{m \cdot g}{\sqrt{c_d \cdot A_p \cdot A_s}}. \quad (\text{C.16})$$

Toto definuje optimálnu rýchlosť, ak náš model letu je presný. Model neplatí, ak účinnosť motora  $\varepsilon$  značne závisí od rýchlosti, a ak rýchlosť lietadla prekročí rýchlosť zvuku (330 m/s). Nad rýchlosťou zvuku by sme potrebovali iný model.

Overme náš model tým, že vypočítame optimálnu rýchlosť pre Boeing 747 a pre vtáka albatrosa. Musíme presne použiť korekciu hustoty vzduchu. Ak chceme odhadnúť optimálnu rovnomernú rýchlosť pre Boeing 747 pri výške 30 000 stôp, musíme si pamätať, že hustota vzduchu klesá so zvyšujúcou sa nadmorskou výškou z  $\exp(-m \cdot g \cdot z/k \cdot T)$ , kde  $m$  je hmotnosť molekúl kyslíka a dusíka a  $k \cdot T$  je ich energia (Boltzmanova konštanta  $\times$  absolútna teplota). Hustota je približne trojnásobne menšia pri tejto nadmorskej výške.

Predpovedané optimálne rýchlosti (tab. C.6) sú presnejšie, ako sme si trúfali očakávať! Optimálna rýchlosť pre Boeing 747 je 540 míľ za hodinu (220 m/s) a pre albatrosy 32 míľ za hodinu (14 m/s). Oba výpočty sú veľmi blízko ku skutočným rýchlostiam týchto „strojov“ (560 mph [miles-per-hour – míľ za hodinu – pozn. prekl.] a 30 - 55 mph).



		747 (lietadlo)	Albatros (vták)
Výrobca		Boeing	Prirodzený výber
Hmotnosť (plne naložený)	$m$	363 000 kg	8 kg
Rozpätie krídel	$w$	64,4 m	3,3 m
Plocha*	$A_p$	180 m <sup>2</sup>	0,09 m <sup>2</sup>
Hustota	$\rho$	0,4 kg/m <sup>3</sup>	1,2 kg/m <sup>3</sup>
Koeficient odporu	$c_d$	0,03	0,1
Optimálna rýchlosť	$v_{opt}$	220 m/s = 540 mph	14 m/s = 32 mph

Tabuľka C.6 Odhad optimálnych rýchlostí pre prúdové lietadlo a albatrosa.

\*Odhadovaná čelná plocha pre Boeing 747 s uvažovanou šírkou kabíny (6,1 m) x odhadovaná výška trupu (10 m) a prídanie dvojnásobku k započítaniu čelnej plochy motorov, krídel a chvosta. V prípade albatrosa je čelná plocha 0,09 m<sup>2</sup> odhadnutá z fotografie.

Podme trochu viac preskúmať naše odhady. Môžeme skontrolovať, či sila (C.13) je zlučiteľná so známym ťahom Boeingu 747. Zapamätajme si, že optimálna rýchlosť je pri rovnosti dvoch síl, takže stačí vybrať jednu z nich a vynásobiť ju dvoma:

$$\text{sila} = \frac{\text{energia}}{\text{vzdialenosť}} \Big|_{\text{ideal}} = \frac{1}{2} \cdot c_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{(m \cdot g)^2}{\rho \cdot v^2 \cdot A_s} \quad (\text{C.17})$$

$$= c_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot v_{opt}^2 \quad (\text{C.18})$$

$$= c_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot \frac{m \cdot g}{\rho \cdot (c_d \cdot A_p \cdot A_s)^{1/2}} \quad (\text{C.19})$$

$$= \left( \frac{c_d \cdot A_p}{A_s} \right)^{1/2} \cdot m \cdot g. \quad (\text{C.20})$$

Zadefinujeme plniaci faktor  $f_A$ , čo je pomer:

$$f_A = \frac{A_p}{A_s}. \quad (\text{C.21})$$

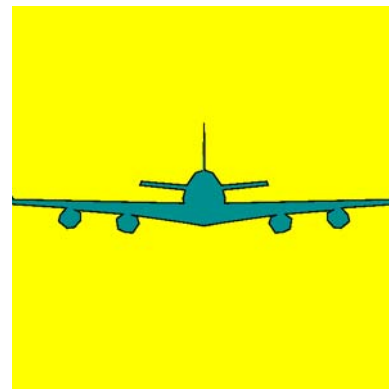
(Za  $f_A$  považujeme časť plochy obsadzovanej lietadlom na obr. C.7.) Potom

$$\text{sila} = (c_d \cdot f_A)^{1/2} \cdot (m \cdot g). \quad (\text{C.22})$$

Zaujímavé! Nezávisle od hustoty plynu, cez ktorý lietadlo letí, je potrebná celková sila (pre lietadlo letiace optimálnou rýchlosťou) práve bezrozmerná konštanta  $(c_d \cdot f_A)^{1/2}$  krát tiaž lietadla. Mimochodom, táto konštanta je známa ako pomer odporu k vztlaku lietadla. Hodnota opačná k tomuto pomeru sa volá kĺzavosť: typické hodnoty sú uvedené v tabuľke C.8.

Ak vezmeme do úvahy parametre prúdového lietadla,  $c_d \approx 0,03$  a  $f_A \approx 0,04$ , určíme požadovanú celkovú silu:

$$(c_d \cdot f_A)^{1/2} \cdot m \cdot g = 0,036 \cdot m \cdot g = 130 \text{ kN}. \quad (\text{C.23})$$



Obrázok C.7 Čelný pohľad na Boeing 747 použitý pre odhadnutie čelnej plochy  $A_p$  lietadla.  $A_s$  je plocha krídel.

Airbus A320	17
Boeing 767-200	19
Boeing 747-100	18
Rybár obyčajný	12
Albatros	20

Tabuľka C.8 Pomer odporu ku vztlaku.



Obrázok C.9 Cessna 310N: 60 kWh na 100 osobo-km. Cessna 310 Turbo odvezie 6 pasažierov (vrátane pilota) rýchlosťou 360 km/h. Fotografia: Adrian Pingstone.

Ako sa toto zhoduje s údajom pre Boeing 747? V podstate každý zo štyroch motorov má maximálny celkový ťah okolo 240 kN, ale toto maximum je použité iba na vzlietnutie. Počas letu je celkový ťah omnoho menší: celková sila pre Boeing 747 je 200 kN, iba o 50 % viac ako v našom jednoduchom modeli. Model je trochu nepresný, pretože náš odhadovaný pomer odporu k vztlaku bol trochu nízky.

Údaj o ťahu je možné priamo použiť na odvodenie účinnosti dopravy lietadlami. Môžeme získať dve účinnosti: energiu potrebnú na prepravu nákladu v kWh na tonu-kilometer a energiu potrebnú na dopravu ľudí meranú v kWh na 100 osobo-kilometrov.

### Účinnosť vo vzťahu k hmotnosti

Ťah je sila a sila je energia na jednotku vzdialenosti. Celkovú potrebnú energiu na jednotku vzdialenosti je možné vypočítať použitím vzťahu (C.24), kde  $\varepsilon$  je účinnosť pohonných jednotiek, ktorú berieme ako  $\frac{1}{3}$ .

To znamená, že hrubé dopravné náklady (energia potrebná na dopravu) sú definované ako energia na jednotku hmotnosti (celého lietadla) a na jednotku vzdialenosti:

$$\text{dopravné náklady} = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{\text{sil}a}{\text{hmotnosť}} \quad (\text{C.24})$$

$$= \frac{1}{\varepsilon} \frac{(c_d \cdot f_A)^{1/2} \cdot m \cdot g}{m} \quad (\text{C.25})$$

$$= \frac{(c_d \cdot f_A)^{1/2}}{\varepsilon} \cdot g. \quad (\text{C.26})$$

Takže dopravné náklady sú bezrozmerné číslo (súvisiace s tvarom lietadla a jeho účinnosťou motorov) vynásobené  $g$ , tiažovým zrýchlením. Sú aplikovateľné na všetky lietadlá, ale závisia iba od troch jednoduchých charakteristík lietadla: koeficient odporu, tvar lietadla, účinnosť motorov. Nezávisia od veľkosti lietadla, ani od jeho hmotnosti, či od hustoty vzduchu. Ak pridáme do vzorca  $\varepsilon = \frac{1}{3}$ , predpokladáme pomer vztlaku k odporu rovný 20, zistíme, že celková energetická náročnosť akéhokoľvek lietadla je

$$0,15 g$$

alebo

$$0,4 \text{ kWh/t-km.}$$

### Môžeme lietadlá zlepšiť?

Ak by sa dala zvýšiť účinnosť motora aspoň trochu technologickým vývojom, a ak už je tvar lietadla prakticky dokonalý, potom je možné zmeniť náš výsledok len málo. Energia potrebná na prepravu je na hraniciach fyzikálnych limitov.

Komunita odborníkov na aerodynamiku hovorí, že tvar lietadiel je možné o niečo zlepšiť použitím tvaru „blended wing“ (úžitková časť lietadla je plochá, lietadlo nemá stredný valcový trup a chvost), a že koeficient odporu je možné o niečo znížiť riadením laminárneho prúdenia. Ide o technológiu, ktorá znižuje rast turbulencie pri krídlach nasávaním vzduchu cez malé perforácie ich povrchu (Braslow, 1999). Pridanie riadenia laminárneho toku k existujúcim lietadlám by mohlo zlepšiť koeficient odporu o 15 % a zmena v tvare lietadla môže znížiť koeficient odporu približne o 18 % (Green, 2006). Rovnica (C.26) hovorí, že energia potrebná na dopravu je priamo úmerná druhej odmocnине koeficientu odporu, takže zlepšenia koeficientu odporu o 15 % alebo 18 % by mohli zefektívniť prepravné náklady o 7,5 %, resp. 9 %.

Tieto hrubé dopravné náklady sú energetické náklady potrebné na pohon lietadla a *zahŕňajú aj hmotnosť samotného lietadla*. Aby sme odhadli energiu potrebnú na prepravu na jednotku hmotnosti nákladu, potrebujeme energiu podeliť podielom tohto nákladu. Napr. ak je hmotnosť nákladu  $\frac{1}{3}$  hmotnosti lietadla, potom energia potrebná na dopravu je

$$0,45 g,$$

alebo približne 1,2 kWh/t-km. Toto je iba o málo viac ako energia potrebná v prípade nákladného auta, ktorá je 1 kWh/t-km.

#### Účinnosť dopravy a počet pasažierov

Podobne vieme odhadnúť prepravnú účinnosť na jedného pasažiera pre 747.

Dopravná účinnosť (osobo-km na liter paliva)

$$= \text{počet pasažierov} \cdot \frac{\text{energia na liter}}{\frac{\text{ťah}}{\varepsilon}} \quad (\text{C.27})$$

$$= \text{počet pasažierov} \cdot \frac{\varepsilon \cdot \text{energia na liter}}{\text{ťah}} \quad (\text{C.28})$$

$$= 400 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{38 \text{ MJ na liter}}{3 \cdot 200 \text{ 000 N}} \quad (\text{C.29})$$

$$= 25 \text{ osobo-km na liter.} \quad (\text{C.30})$$

Toto je iba o málo vyššia účinnosť, ako má typické auto s jedným pasažierom (12 km na liter). Takže cestovanie lietadlom je energeticky účinnejšie, ako cestovanie autom, ak v aute sedí jedna alebo dve osoby, a autá sú účinnejšie, keď sú obsadené tromi alebo viacerými osobami.

#### Kľúčové body

Teórii sme sa už venovali dostatočne! Poďme si zopakovať hlavné myšlienky. Polovica práce, ktorú lietadlo vykoná, ide na to, aby sa *udržalo vo vzduchu*. Druhú polovicu potrebuje na *udržanie pohybu*. Účinnosť spaľovania



Obrázok C.10 Bombardier Learjet 60XR prepravujúci osem pasažierov pri rýchlosti 780 km/h spotrebuje 150 kWh na 100 osobo-km. Fotografia: Adrian Pingstone.



Obrázok C.11 Boeing 737-700: 30 kWh na 100 osobo-km. Fotografia: Tom Collins.

paliva pri optimálnej rýchlosti, vyjadrenú ako energia na vzdialenosť, sme určili silou (C.22). Bola jednoducho priamo úmerná tiaži lietadla. Konštantou priamej úmernosti je pomer odporu k vztlaku, ktorý je určený tvarom lietadla. Zatiaľ čo zníženie rýchlostných limitov v prípade áut by mohlo znížiť spotrebu energie na danú vzdialenosť, uvažovať o rýchlostných limitoch v prípade lietadiel nemá význam. Lietadlá vo vzduchu majú rôzne optimálne rýchlosti, ktoré závisia od ich hmotnosti. Tieto lietadlá vždy letia optimálnymi rýchlosťami. Ak by lietadlo letelo pomalšie, spotreba energie by vzrástla. Jediný spôsob, ako zlepšiť lietadlo, je dostať ho na zem a zastaviť ho. Lietadlá sú dokonale optimalizované a neexistujú žiadne viditeľné zlepšenia, ktoré by zvýšili ich účinnosť (pozri strany 37 a 132 pre ďalšiu diskusiu o tom, že nové veľké lietadlá sú „oveľa účinnejšie“ ako staré, a stranu 35 s diskusiou o tom, že „turbovrtuľové motory sú oveľa účinnejšie ako tryskové“).

### Dolet

Ďalej môžeme odhadnúť dolet lietadla alebo vtáka, teda najväčšiu vzdialenosť, ktorú môže prejsť bez doplnenia paliva? Možno sa domievate, že väčšie lietadlá majú väčší dolet, ale odhad podľa nášho modelu je prekvapujúco jednoduchý. Dolet lietadla, teda maximálna vzdialenosť, ktorú môže prejsť pred doplnením paliva, je priamo úmerný jeho rýchlosti a celkovej energii v palive a nepriamo úmerný výkonu, pri ktorom sa spotrebúva palivo:

$$\text{dolet} = v_{\text{opt}} \cdot \frac{\text{energia}}{\text{výkon}} = \frac{\text{energia} \cdot \varepsilon}{\text{sila}}. \quad (\text{C.31})$$

Teraz, celková energia paliva je výhrevnosť paliva  $C$  (J/kg) vynásobená jeho hmotnosťou a hmotnosť paliva je nejaká čiastka  $f_{\text{palivo}}$  celkovej hmotnosti lietadla. Preto

$$\text{dolet} = \frac{\text{energia} \cdot \varepsilon}{\text{sila}} = \frac{C \cdot m \cdot \varepsilon \cdot f_{\text{palivo}}}{(c_d \cdot f_A)^{1/2} \cdot (m \cdot g)} = \frac{\varepsilon \cdot f_{\text{palivo}}}{(c_d \cdot f_A)^{1/2}} \cdot \frac{C}{g}. \quad (\text{C.32})$$

Je ťažké si predstaviť jednoduchší výpočet. Dolet hociktorého vtáka alebo lietadla je súčinom bezrozmerného faktoru  $\varepsilon f_{\text{palivo}} / (c_d \cdot f_A)^{1/2}$ , ktorý vo výpočte zohľadňuje účinnosť motora, koeficient odporu a geometriu letiaceho prostriedku s konštantou, ktorú môžeme označiť ako „základná vzdialenosť“,

$$\frac{C}{g},$$

čo je vlastnosť paliva a tiažového zrýchlenia. Nič viac. Žiadna veľkosť prepravného prostriedku, žiadna hmotnosť, žiadna dĺžka, žiadna hrúbka, žiadna závislosť od hustoty plynu.

Čo je teda táto magická dĺžka? Je to tá istá vzdialenosť, či je palivo husací tuk alebo letecké palivo: obe tieto palivá sú v podstate uhľovodíky  $(\text{CH}_2)_n$ . Palivo

má výhrevnosť  $C = 40 \text{ MJ/kg}$ . Vzdialenosť spojená s týmto palivom je

$$d_{\text{palivo}} = \frac{C}{g} = 4\,000 \text{ km.} \quad (\text{C.33})$$

Dolet vtáka je vlastne dolet paliva, 4 000 km, vynásobený faktorom  $(\varepsilon \cdot f_{\text{palivo}} / (c_d \cdot f_A)^{1/2})$ . Ak má náš vták účinnosť pohonu  $\varepsilon = 1/3$  a pomer odporu ku vztlaku,  $(c_d \cdot f_A)^{1/2} \approx 1/20$ , a ak takmer polovicu vtáka tvorí palivo (v plne zaťaženom Boeingu 747 tvorí palivo 46 %), zistíme, že všetky vtáky a lietadlá ľubovoľnej veľkosti majú ten istý dolet: približne trojnásobok palivovej vzdialenosti, teda asi 13 000 km.

Model je opäť blízko skutočnosti. Let Boeingu 747 bez pristátia (uskutočnený 23. - 24. 3. 1989) dosiahol dĺžku 16 560 km.

A tvrdenie, že dolet je nezávislý od veľkosti letiaceho prostriedku, podporuje pozorovanie, že vtáky všetkých veľkostí, od veľkých husí po malé lastovičky či rybárov arktických, prekonávajú medzikontinentálne vzdialenosti. Najdlhší zaznamenaný nepretržitý vtáčí let dosiahol 11 000 km a šampiónom bol brehár čiernochvostý.

Ako ďaleko sa dostal Steve Fossett v špeciálne navrhnutom prostriedku Scaled Composites Model 311 Virgin Atlantic GlobalFlyer? 41 467 km [33ptcg]. Neobyčajné lietadlo: 83 % jeho vzletovej hmotnosti tvorilo palivo; počas letu sa starostlivo využívalo tryskové prúdenie [„jet stream“, veľmi rýchly vietor v tropopauze – pozn. prekl.], aby sa dosiahla čo najväčšia vzdialenosť. Krehké lietadlo malo počas letu niekoľko porúch.

Týmto modelom sme dosiahli zaujímavý poznatok. Ak sa opýtame, „Aká je optimálna hustota vzduchu pre let?“, zistíme, že celková sila vyžadovaná pri optimálnej rýchlosti (C.20) nezávisí od hustoty. Takže naše modelové lietadlo by mohlo letieť rovnako pri ľubovoľnej výške. Neexistuje optimálna hustota. Lietadlo môže dosiahnuť tú istú spotrebu pri ľubovoľnej hustote; ale optimálna rýchlosť od hustoty závisí ( $v^2 \approx 1/\rho$ , rovnica (C.16)). Ak všetko ostatné zostáva rovnaké, naše modelové lietadlo by mohlo dosiahnuť najkratší čas na cestu, ak by letelo vzduchom s najnižšou možnou hustotou (účinnosť skutočných motorov však závisí od rýchlosti a hustoty vzduchu). Naš model hovorí, že tým, ako je lietadlo čoraz ľahšie s ubúdajúcim palivom, jeho optimálna rýchlosť by sa pri danej hustote vzduchu mala znižovať ( $v^2 \approx m \cdot g / (\rho \cdot (c_d \cdot A_p \cdot A_s)^{1/2})$ ). Takže lietadlo letiace vo vzduchu s konštantnou hustotou by malo so znižovaním svojej hmotnosti spomaľovať. Ale lietadlo dokáže udržiavať *konštantnú rýchlosť* a zároveň zaistiť, aby to bola *optimálna* rýchlosť, tým, že zvyšuje nadmorskú výšku, čím sa dostáva do vzduchu s nižšou hustotou. Ak nabudúce poletíte lietadlom za oceán, môžete skontrolovať, či pilot ku koncu letu zvýšil letovú výšku povedzme z 31 000 stôp na 39 000 stôp.

*Ako by obstáli lietadlá na vodíkový pohon?*

Už sme teda definovali, že energetická náročnosť letu vyjadrená energiou na tonu na kilometer, je iba jednoduché bezrozmerné číslo vynásobené  $g$ . Zmena paliva nevedie k zmene tohto základného argumentu. Lietadlá

Môžeme si predstaviť  $d_{\text{palivo}}$  ako vzdialenosť, pri ktorej by sa spotrebovalo celé palivo, ak by sme premenili všetku jeho chemickú energiu na kinetickú a vymrštili ho na parabolickú trajektóriu bez odporu vzduchu. [Ak chceme byť presní, vzdialenosť dosiahnutá optimálnou parabolou je dvojnásobkom  $C/g$ .] Táto vzdialenosť je tiež vertikálna výška, do ktorej by sa mohlo vymrštiť palivo, ak by sme nebrali do úvahy odpor vzduchu. Ďalšia prekvapujúca vec, ktorá stojí za zmienku je, že výhrevnosť paliva  $C$ , ktorú som uviedol v  $\text{J/kg}$ , je tiež druhá mocnina rýchlosti (práve ako pomer medzi energiou a hmotnosťou  $E/m$  v Einsteinovej rovnici  $E = m \cdot c^2$  je umocnená rýchlosť,  $c^2$ ):  $40 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$  je  $(6\,000 \text{ m/s})^2$ . Takže jeden zo spôsobov, ako sa pozeráť na tuk, je: „tuk je  $6\,000 \text{ m/s}$ .“ Ak chcete schudnúť pri džogingu,  $6\,000 \text{ m/s}$  je rýchlosť, pri ktorej schudnete naraz, v jednom gigantickom skoku.

na vodíkový pohon by mohli stáť za úvahu, ak chceme znížiť emisie skleníkových plynov spôsobujúcich klimatické zmeny. Môžu mať lepší dolet. Ale nečakajme, že by dosiahli významne vyššiu energetickú účinnosť.

### Spôsoby zvýšenia účinnosti lietadiel

Formácia lietania štýlom husí by mohla priniesť 10% zlepšenie palivovej účinnosti (pretože pomer odporu ku vztlaku takejto formácie je vyšší ako v prípade jedného lietadla). Trik však samozrejme spočíva v tom, že husi chcú migrovať na to isté miesto v rovnakom čase.

Optimalizácia preletových vzdialeností: Lietadlá s kratšími doletmi sú účinnejšie ako lietadlá s dlhým doletom (konštruované na vzdialenosť napr. 15 000 km). Tie nesú palivo navyše, ktoré uberá miesto pasažierom a batožine. Bolo by preto účinnejšie lietať na kratšie vzdialenosti lietadlami s kratším doletom. Ideálne by mala táto vzdialenosť byť približne 5 000 km, takže typické cesty na dlhšie trasy by mali jedno alebo dve medzipristátia pre načerpanie paliva (Green, 2006). Takýto spôsob lietania by mohol byť o 15 % účinnejší, ale znamenalo by to samozrejme ďalšie náklady.

### Ekologické lietadlá

Občas je počuť o ľuďoch, ktorí vyrábajú ekologické aeroplány. V začiatkoch tejto kapitoly som však na našom modeli ukázal, že transportná energia *ľubovoľného* lietadla je približne

$$0,4 \text{ kWh/t-km.}$$

Podľa tohto modelu sú jediné možnosti, akými sa dá lietadlo významne zlepšiť: znížením odporu vzduchu (možno nejakým trikom nových odsávačov vzduchu v krídlach), alebo zmenou geometrie lietadla (vytvorením tvaru na spôsob klzáka, so širokými krídlami v porovnaní k trupu lietadla alebo v podstate odstránením trupu).

Aké sú najnovšie trendy v „ekologicky prijateľnom lietaní“? Pozrime sa, či niektoré z týchto lietadiel môže prekonať hranicu 0,4 kWh na tonu-kilometer. Ak lietadlo spotrebuje menej ako 0,4 kWh/tonu-kilometer, môžeme usúdiť, že náš model je chybný.

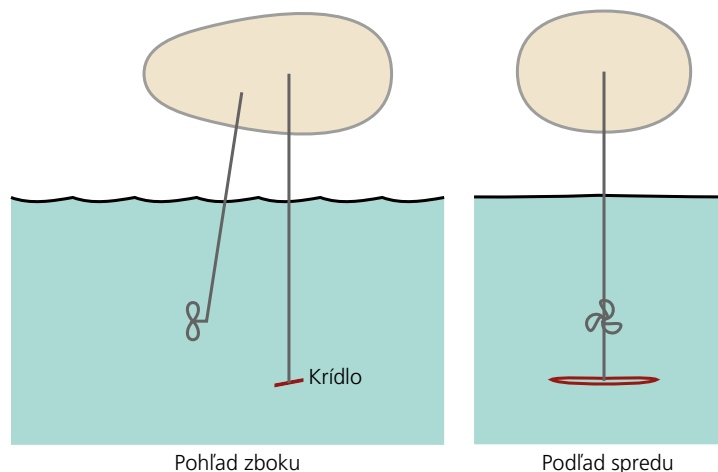
Electra, z dreva a látky postavené jednomiestne lietadlo, preletelo za 48 minút 50 km okolo Južných Álp [6r32rf]. Rozpätie krídel je 9 m a má 18 kW elektrický motor poháňaný 48 kg lítium-polymérovými akumulátormi. Hmotnosť lietadla pri vzlietnutí je 265 kg (134 kg lietadlo, 47 kg akumulátory a 84 kg hmotnosť človeka). 23. 12. 2007 preletelo spomínaných 50 km. Ak predpokladáme, že hustota energie v akumulátoroch bola 130 Wh/kg a let využil 90 % plného nabitia (5,5 kWh), dopravné náklady boli približne

$$0,4 \text{ kWh/t-km,}$$

čo sa presne zhoduje s našim modelom. Toto elektrické lietadlo teda nemá nižšiu spotrebu energie ako normálne lietadlo na fosilný pohon.



Obrázok C.12 Electra F- WMDJ: 11 kWh na 100 o-km. Fotografia: Jean-Bernard Gache. <http://www.apame.eu/>



Obrázok C.13 Křídlová loď. Fotografia: Georgios Pazios.

Samozrejme, to neznamená, že elektrické lietadlá nie sú zaujímavé. Ak by sme mohli nahradiť tradičné lietadlá alternatívnymi s rovnakou energetickou spotrebou, ale bez emisií oxidu uhličitého, tak by to bola užitočná technológia. V prípade osobnej dopravy ponúka Electra úctyhodných **11 kWh na 100 osobo-kilometrov**, podobne ako elektrické auto v našom diagrame na strane 128. Ale v tejto knihe je vždy kľúčová otázka: „Odkiaľ táto energia pochádza?“

*Viaceré lode sú tiež ako vtáky*

Nejaký čas po napísaní tohto modelu lietadla som si uvedomil, že je možné ho aplikovať nielen na letiace prostriedky vo vzduchu, ale aj na křídlové lode a iné vysokorýchlostné plavidlá; všetky tie, ktoré sa vo vode zdvihnú, keď sú v pohybe.

Obrázok C.13 zobrazuje princíp křídlových lodí. Hmotnosť prostriedku podopiera naklonené podvodné křídlo, ktoré môže byť dosť tenké v porovnaní s daným dopravným prostriedkom. Křídlo umožňuje zdvih vytváraním pretlaku v kvapaline pod ním, tak ako lietadlo na obrázku C.2. Ak predpokladáme, že odporu dominuje odpor na křídle, a že rozmery křídla a rýchlosť plavidla minimalizujú spotrebu energie na jednotku vzdialenosti, potom najlepšie možné dopravné náklady v zmysle energie na tonu-kilometer budú práve také isté ako v rovnici (C.26):

$$\frac{(c_d \cdot f_A)^{1/2}}{\varepsilon} \cdot g, \quad (\text{C.34})$$

kde  $c_d$  je koeficient odporu podvodného křídla,  $f_A$  je bezrozmerný pomer plochy definovaný skôr,  $\varepsilon$  je účinnosť motora a  $g$  je gravitačné zrýchlenie.

Možno  $c_d$  a  $f_A$  nie sú celkom tie isté ako tie v optimalizovanom aeropláne, ale významné na tejto teórii je to, že vôbec nezávisí od hustoty tekutiny,

cez ktorú sa krídlo pohybuje. Takže náš približný odhad je, že dopravné náklady (energia na vzdialenosť a hmotnosť, vrátane hmotnosti dopravného prostriedku) krídlavej lode sú *také isté* ako dopravné náklady aeroplánu! Konkrétne približne 0,4 kWh na tona-kilometer.

Presný model pre iné plavidlá, ktoré kľžu po vodnej hladine, ako napr. vysokorychlostné katamarany a vodní lyžiar, by mal tiež zahŕňať energiu potrebnú na tvorenie vĺn. Prikláňam sa však k tomu, že táto teória krídlavej lode je pre nich približne správna.

Ešte sa mi nepodarilo získať údaje o dopravných nákladoch krídlavej lode, ale údaje pre katamaran prepravujúci pasažierov rýchlosťou 41 km/h sa celkom dobre zhodujú: spotreba energie je približne 1 kWh na tona-kilometer.

Je pre mňa celkom prekvapujúce dozvedieť sa, že ten, kto sa presúva z ostrova na ostrov lietadlom, nielenže sa presunie rýchlejšie ako ten, kto ide rýchlou loďou, ale pravdepodobne spotrebuje aj menej energie.

## Iné spôsoby, ako sa udržať vo vzduchu

### Vzducholode



Obrázok C.14 239 m dlhá vzducholode USS Akron (ZRS-4) pri prelete nad Manhattanom. Mala hmotnosť 100 t a uniesla 83 t. Jej motory mali celkový výkon 3,4 MW. Dokázala prepraviť 89 osôb a množstvo zbraní rýchlosťou 93 km/h. Používala sa aj ako vojenský transportér.

Táto kapitola zdôraznila, že lietadlá nemôžu byť energeticky účinnejšie spomalením svojej rýchlosti, pretože každú výhodu získanú znížením odporu vzduchu eliminuje nutnosť stláčať vzduch dole. Môže tento problém vyriešiť iná stratégia: teda nie stláčať vzduch dole, ale namiesto toho mať lietadlo ľahké ako vzduch? Vzducholode, hliadkový balón, zeppelin alebo navigovateľný balón používajú veľký, héliom naplnený balón, ktorý je ľahší ako vzduch a vyvažuje hmotnosť malej kabíny. Nevýhoda tohto prístupu je, že veľký balón značne zvyšuje odpor vzduchu dopravného prostriedku.

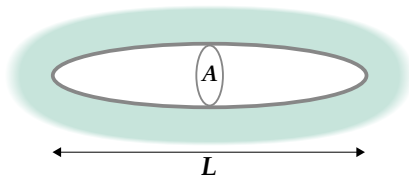
Spôsob, ako možno držať potrebnú energiu (na hmotnosť, na vzdialenosť) nízko, je hýbať sa pomaly, mať tvar ryby a byť veľmi veľký a dlhý. Určíme energiu potrebnú na pohon takto idealizovanej vzducholode.

Budem uvažovať o elipsoidnom balóne s prierezom  $A$  a dĺžkou  $L$ . Objem je  $V = \frac{2}{3}(A \cdot L)$ . Ak sa vzducholode pohybuje konštantnou rýchlosťou vzduchom s hustotou  $\rho$ , jej celková hmotnosť zahrňujúca hmotnosť nákladu a hélia musí byť  $m_{\text{total}} = \rho \cdot V$ . Ak sa pohybuje rýchlosťou  $v$ , sila odporu vzduchu je

$$F = \frac{1}{2} \cdot c_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2, \quad (\text{C.35})$$

kde  $c_d$  je koeficient odporu. Na základe príkladu lietadiel môžeme predpokladať, že bude mať hodnotu 0,03. Potrebná energia na jednotku vzdialenosti sa rovná sile  $F$  podelenej účinnosťou strojov  $\varepsilon$ . Celková energia potrebná na jednotku vzdialenosti a jednotku hmotnosti je potom

$$\frac{F}{\varepsilon \cdot m_{\text{total}}} = \frac{\frac{1}{2} \cdot c_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2}{\varepsilon \cdot \rho \cdot \frac{2}{3} \cdot A \cdot L} \quad (\text{C.36})$$



Obrázok C.15 Vzducholode v tvare elipsy.



$$= \frac{3}{4 \cdot \varepsilon} \cdot c_d \cdot \frac{v^2}{L} \quad (\text{C.37})$$

To je celkom pekný výsledok! Celková potrebná energia na pohon tejto idealizovanej vzducholode závisí len od jej rýchlosti  $v$  a dĺžky  $L$ , nie od hustoty vzduchu  $\rho$ , ani od čelnej plochy vzducholode  $A$ .

Tento model je možné aplikovať aj na ponorky. Celková energia (v kWh na t-km) vzducholode je rovnaká ako celková energia pri ponorke identickej dĺžky a rýchlosti. Ponorka bude tisícnásobne ťažšia, pretože voda je tisícnásobne ťažšia ako vzduch, čo bude viesť k tisícnásobne väčšej spotrebe energie na jej pohyb.

Použijme nejaké čísla. Predpokladajme, že túžime cestovať rýchlosťou 80 km/h (prechod cez Atlantik nám bude trvať 3 dni). V SI jednotkách je to 22 m/s. Predpokladajme účinnosť strojov  $\varepsilon = 1/4$ . Aká je najväčšia možná dĺžka balóna na dosiahnutie najlepšej energetickej náročnosti? Hindenburg mal dĺžku 245 m. Ak predpokladáme  $L = 400$  m, celkovú energiu určíme ako:

$$\frac{F}{\varepsilon \cdot m_{total}} = 3 \cdot 0,03 \cdot \frac{(22 \text{ m/s})^2}{400 \text{ m}} = 0,1 \text{ m/s}^2 = 0,03 \text{ kWh/t-km}.$$

Ak by užitočný náklad tvoril polovicu hmotnosti vzducholode, čisté dopravné náklady na pohon tohoto monštra by boli **0,06 kWh/t-km** – podobné ako v prípade vlaku.

### Ekranoplány

Ekranoplán, alebo nad vodou sa vznášajúca krídlová loď, je lietadlo využívajúce dynamický prízemný efekt. Lietadlo leží veľmi blízko k povrchu vody. Nadnášané je nie stláčaním vzduchu dole ako lietadlo alebo stláčaním vody dole ako krídlová loď, ale vznášaním sa na vankúši stlačeného vzduchu, ktorý sa nachádza medzi krídlami a najbližším povrchom. Dynamický prízemný efekt môže byť demonštrovaný pohybom karty po rovnom stole. Udržanie tejto vzduchovej podušky si vyžaduje veľmi málo energie. Takéto „lietadlo“ je povrchové dopravné zariadenie bez jazdného odporu. Jeho hlavný energetický výdaj súvisí s odporom vzduchu. Pripomeňme si, že v prípade lietadla a jeho optimálnej rýchlosti súvisí polovica jeho potreby energie s odporom vzduchu a polovica so stláčaním vzduchu nadol.

Vtedajšie ZSSR vyvinul ekranoplán ako vojenský dopravný prostriedok a zariadenie na odpaľovanie rakiet počas éry Chruščova. Ekranoplán Lun sa mohol pohybovať rýchlosťou 500 km/h. Celková sila jeho ôsmich strojov bola 1 000 kN. Predpokladajme, že ťah bol štvrtinový, že účinnosť strojov je 30 % a že z jeho 400 t hmotnosti tvoril náklad 100 t. Toto plavidlo dosahovalo čisté prepravné náklady vo výške **2 kWh/tono-kilometer**. Myslím si, že v prípade zdokonalenia plavidla ekranoplánu, by bolo možné dosiahnuť približne polovicu dopravných nákladov bežných lietadiel.



Obrázok C.16 Ekranoplán Lun – trošku ťažší a dlhší ako Boeing 747. Fotografia: A.Belyaev.

[Vznášadlo pod seba vháňa vzduch pomocou dúchadiel a vytvára tak statický prízemný efekt, takže sa môže zastaviť. Ekranoplán potrebuje na rozdiel od vznášadla k svojmu pohybu hybnosť (doprednú rýchlosť – dynamický prízemný efekt) – pozn. prekl.]

## Mýty

### **Lietadlo by aj tak letelo, takže môj let bol energeticky neutrálny.**

Nie je to pravda z dvoch dôvodov. Po prvé, vaša hmotnosť v lietadle vyžaduje energiu navyše, ktorú je nutné spotrebovať na udržanie lietadla vo vzduchu. Po druhé, aerolínie reagujú na dopyt vyšším počtom lietadiel.

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

272 *Boeing 747*. Koeficient odporu pre Boeing 747 je získaný z [www.aerospaceweb.org](http://www.aerospaceweb.org). Ďalšie údaje pre Boeing 747 sú z [2af5gw]. Fakty o albatrovi sú z [32judd].

- *Skutočný prúdový motor má účinnosť okolo  $\varepsilon = 1/3$* . Typické účinnosti motorov sú v rozmedzí 23 - 36 % [<http://adg.stanford.edu/aa241/propulsion/sfc.html>]. Typické lietadlo má celkovú účinnosť motora 20 - 40 % a najlepšie účinnosti 30 - 37 % v prípade letu s rovnakou rýchlosťou [<http://www.grida.no/climate/ipcc/aviation/097.htm>]. Avšak nemôžete sa zamerať iba na ten najúčinnjší motor, pretože môže byť ťažší (tým myslím, že môže mať vyššiu hmotnosť na jednotku celkovej sily). Tým sa znižuje celková účinnosť lietadla.

277 *Najdlhší zaznamenaný nepretržitý let vtáka...*

*New Scientist* 2 492. „Brehár čiernochvostý je kráľom oblohy“ 26. 3. 2005. 11. 9. 2007: Brehár čiernochvostý letel 11 500 km z Aljašky na Nový Zéland. [2qbquv]

278 *Optimalizovanie dĺžky letu: optimálny let je 5 000 km dlhý*. Zdroj: Green (2006).

280 *Údaje pre katamarán vezúci pasažierov*. Z [5h6xph]: Výtlač (plná záťaž) 26,3 ton. Na ceste 1 050 námorných míľ spotreboval 4 780 litrov paliva. Vyčíslil som, že transportná energia je 0,93 kWh/tono-kilometra. To je na celkovú hmotnosť plavidla. Merná spotreba na dopravu osôb je zhruba 35 kWh na 100 osobo-km.

281 *Ekranoplán Lun*. Zdroje: [www.fas.org](http://www.fas.org) [4p3yco], (Taylor, 2002a).

Ďalšie informácie: Tennekes (1997), Shyy a kol. (1999).

## D Slnko II

Na strane 42 sme uviedli štyri možnosti využitia biomasy získanej pomocou energie Slnka:

1. „Náhrada uhlia.“
2. „Náhrada ropy.“
3. Jedlo pre ľudí alebo zvieratá.
4. Spaľovanie vedľajších poľnohospodárskych produktov.

Odhadnime maximálny hodnoverný príspevok každého z týchto procesov. V praxi veľa týchto metód vyžaduje vložiť toľko energie, koľko získame, takže sú sotva energeticky ziskové (obr. 6.14). Ale v nasledujúcom rozbere tieto náklady zanedbám.

### Energetické plodiny ako náhrada uhlia

Ak vo Veľkej Británii vypestujeme energetické plodiny ako napr. vrba, ozdobnica alebo topoľ (ktoré majú priemerný výkon  $0,5 \text{ W}$  na štvorcový meter pôdy) a potom ich spálime v elektrárni so 40% účinnosťou, výsledkom je výkon na jednotku plochy  $0,2 \text{ W/m}^2$ . Ak by bola osmina Veľkej Británie ( $500 \text{ m}^2$  na osobu) pokrytá takýmito plodinami, dostali by sme výkon  $2,5 \text{ kWh/deň}$  na osobu.

### Náhrada ropy

Existuje niekoľko spôsobov premeny rastlín na kvapalné palivá. Vysvetlím potenciál každej metódy v súvislosti s jej výkonom na jednotku plochy (ako na obr. 6.11).

#### *Hlavná plodina na výrobu bionafty, repka*

Obyčajne sa repka seje v septembri a zbiera v auguste nasledujúceho roku. V súčasnosti sa vo Veľkej Británii každý rok pestuje repka olejná na rozlohe  $450\,000 \text{ ha}$  (t. j. 2 % Veľkej Británie). Repkové polia produkujú  $1\,200$  litrov bionafty/hektár/rok. Bionafta má energiu  $9,8 \text{ kWh/l}$ . Z toho vyplýva výkon na jednotku plochy  $0,13 \text{ W/m}^2$ .

Ak by sme využili 25 % Veľkej Británie na pestovanie repky, získali by sme bionaftu s energetickým obsahom  $3,1 \text{ kWh/deň}$  na osobu.



Obrázok D.1 Dva stromy.



Obrázok D.2 Repka olejná. Ak sa použije na výrobu bionafty, výkon na jednotku plochy je  $0,13 \text{ W/m}^2$ . Fotografia: Tim Dunne.

*Bioetanol z cukrovej repy*

Cukrová repa vo Veľkej Británii poskytuje pôsobivý výťažok 53 t/ha/rok. Jedna tona cukrovej repy poskytuje 108 litrov bioetanolu. Keďže z bioetanolu možno získať 6 kWh/l, koncentrácia výkonu je 0,4 W/m<sup>2</sup>, bez započítania energetických vstupov.

*Bioetanol z cukrovej trstiny*

Tam, kde sa cukrová trstina vyrába (napr. v Brazílii), produkcia dosahuje 80 t/ha/rok, z čoho je výťažok 17 600 litrov etanolu. Bioetanol má spalné teplo 6 kWh/l, takže tento proces má koncentráciu výkonu 1,2 W/m<sup>2</sup>.

*Bioetanol z kukurice v USA*

Výkon bioetanolu z kukurice na jednotku plochy je neuveriteľne nízky. Len tak pre zábavu, podme uviesť čísla najskôr v starobylych jednotkách. Jeden aker (približne 4 000 m<sup>2</sup>) vyrobí 120 bušlov (1 bušel = cca 36 l) kukurice ročne, čo znamená 122 · 2,6 amerických galónov etanolu (1 americký galón = 3,78543 l), ktorý pri 84 000 BTU na galón znamená výkon na jednotku plochy iba 0,2 W/m<sup>2</sup> – pri výpočtoch sme neuvažovali so žiadnymi energetickými stratami!

*Celulóзовý etanol z prosa*

Celulóзовý etanol – úžasné biopalivo „ďalšej generácie“? Schmer a kol. (2008) zistili, že čistý energetický výťažok z trávy rastúcej 5 rokov na okrajovej ploche na 10 farmách vo vnútrozemí USA bol 60 GJ/ha/rok, čo predstavuje 0,2 W/m<sup>2</sup>. „Toto je základná štúdia, ktorá reprezentuje genetický materiál a agronomickú technológiu pre produkciu trávy v roku 2000 a 2001, keď boli tieto polia osiate. Zlepšenie genetiky a agronómie môže v budúcnosti zvýšiť energetickú udržateľnosť a výťažok biopaliva z prosa.“

*Jatrofa má tiež nízky výkon na jednotku plochy*

Jatrofa je olejovitá plodina, ktorá najlepšie rastie v suchých tropických oblastiach (300 - 1 000 mm zrážok ročne). Obľubuje teploty 20 - 28 °C. Predpokladaný výťažok v horúcich krajinách na úrodnej pôde je 1 600 litrov bionafty/ha/rok. To predstavuje výkon na jednotku plochy 0,18 W/m<sup>2</sup>. V pustatinách je výťažok 583 l/ha/rok, t. j. 0,065 W/m<sup>2</sup>.

Ak by sa ľudia rozhodli využiť 10 % Afriky na získanie 0,065 W/m<sup>2</sup> a rozdelili tento výkon medzi 6 miliárd ľudí, čo z toho získame? 0,8 kWh/d/o. Na porovnanie: svetová spotreba ropy je 80 mil. barelov denne, čo po rozdelení medzi 6 miliárd ľudí znamená 23 kWh/d/o. Takže aj keby sme celú Afriku pokryli plantážami jatropy, vyrobený výkon by predstavoval iba 1/3 svetovej spotreby ropy.

	Výhrevnosť (kWh/kg)
Lahké drevo	
- sušené vzduchom	4,4
- teplovzdušne sušené	5,5
Ťažké drevo	
- sušené vzduchom	3,75
- teplovzdušne sušené	5
Biely kancelársky papier	4
Hladký papier	4,1
Novinový papier	4,9
Kartón	4,5
Uhlie, čierne	8
Slama	4,2
Odpad z hydiny	2,4
Všeobecný priemyselný odpad	4,4
Nemocničný odpad	3,9
Komunálny pevný odpad	2,6
Recyklovaný odpad	5,1
Pneumatiky	8,9

Obrázok D.3 Výhrevnosť dreva a podobných materiálov. Zdroje: Yaros (1997); Ucuncu (1993); Digest of UK Energy Statistics 2005.



### A čo riasy?

Riasy sú tiež len rastliny, takže čokoľvek som o nich hovoril, sa vzťahuje aj na riasy. Slizké vodné rastliny nemajú účinnejšiu fotosyntézu ako ich suchozemské príbuzné. Existuje však jeden trik, o ktorom som nehovoril. Je bežnou praktikou v komunite výrobcov paliva z rias, že pestujú riasy vo vode obohatenej oxidom uhličitým, ktorý je možné získať z elektrární alebo iných priemyselných zariadení. Rastliny vynakladajú na fotosyntézu oveľa menej námahy, ak je okolo nich koncentrovaný oxid uhličitý. Na slnečnom mieste v Amerike, v jazerách s dodávaným koncentrovaným CO<sub>2</sub> (okolo 10 %), rastú riasy rýchlosťou 30 gramov na štvorcový meter za deň a vyrobia tak 0,01 litra bionafty. To zodpovedá energii na jednotkovú plochu jazera 4 W/m<sup>2</sup> – podobne ako fotovoltická elektrárň v Bavorsku. Ak by ste chceli jazdiť na typickom aute (teda asi 12 km na jeden liter) vzdialenosť 50 km za deň, potom by ste potrebovali 420 štvorcových metrov jazera s riasami. Na porovnanie, vo Veľkej Británii je to 4 000 m<sup>2</sup> na osobu, z toho 69 m<sup>2</sup> je voda (obr. 6.8). Prosím, nezabúdajte, že takáto technológia je limitovaná jednak plochou zeme – koľko rozlohy vo Veľkej Británii môžeme venovať jazerám s riasami – a tiež koncentrovaným CO<sub>2</sub>, ktorého zachytávanie tiež znamená energetické náklady (k tomu sa dostaneme neskôr). Pozrime sa na to, čo znamená limitovanie CO<sub>2</sub>. Získanie 30 gramov rias na štvorcový meter za deň by vyžadovalo najmenej 60 gramov CO<sub>2</sub> na štvorcový meter za deň. Ak by sme dokázali zachytiť všetok CO<sub>2</sub> z elektrární (zhruba 2½ tony za rok na osobu), znamenalo by to 230 štvorcových metrov jazier s riasami na osobu – asi 6 % krajiny. To by zodpovedalo množstvu bionafty s energiou 24 kWh/deň na osobu, ak predpokladáme tie isté čísla, ktoré platia pre slnečnú Ameriku. Je to pravdepodobné? Možno desatina z tohto množstva? Rozhodnutie nechám na vás.

### A čo riasy v oceánoch?

Pamätajte si, čo som práve povedal. Riasy na výrobu bionafty vždy potrebujú ako potravu koncentrovaný CO<sub>2</sub>. Ak sa chystáte využívať tento postup v oceánoch s cieľom pumpovať CO<sub>2</sub> aj sem, budete neúspešní. Bez tohto zdroja klesne účinnosť rias až stonásobne. Preto by museli mať zariadenia na využívanie rias v oceánoch rozmery celej krajiny.

### A čo riasy vyrábajúce vodík?

Využívať slizké organizmy na výrobu vodíka je rozumná myšlienka, pretože nás zbavuje krokov, ktoré sú potrebné pri továrňach s pestovaním rias pre uhlíkovodíky. Každý chemický krok o niečo znižuje účinnosť celého procesu. Fotosyntetický aparát dokáže vyrábať vodík priamo, hneď v prvom kroku. Štúdia Národného laboratória pre obnoviteľnú energiu v Colorade predpovedala, že reaktor naplnený geneticky upravenými riasami s rozlohou 11 hektárov v Arizonskej púšti by mohol vyrábať až 300 kg vodíka za deň. Vodík obsahuje 39 kWh na kilogram, takže takéto zariadenie na výrobu vodíka z rias by

dodávalo výkon s koncentráciou  $4,4 \text{ W/m}^2$ . Ak vezmeme do úvahy odhadovanú elektrinu potrebnú na chod továrne, celkový energetický zisk by klesol na  $3,6 \text{ W/m}^2$ . To mi stále znie ako veľmi sľubné číslo. Porovnajme to napríklad so solárnou elektrárnou v Bavorsku ( $5 \text{ W/m}^2$ ).

### Potraviny pre ľudí alebo zvieratá

Obilniny, ako sú pšenica, ovos, jačmeň a kukurica, majú výhrevnosť okolo  $4 \text{ kWh/kg}$ . Vo Veľkej Británii je typická výnosnosť pšenice  $7,7$  tony na hektár na rok. Ak je pšenica konzumovaná zvieratami, výkon na jednotku plochy tohto procesu je  $0,34 \text{ W/m}^2$ . Ak by sme vo Veľkej Británii venovali  $2\,800 \text{ m}^2$  na osobu pestovaniu týchto obilnín (to je všetka poľnohospodárska pôda), získaná chemická energia by bola okolo  $24 \text{ kWh/d}$  na osobu.

### Spaľovanie vedľajších poľnohospodárskych produktov

Pred chvíľou sme zistili, že výkon na jednotku plochy elektrárne na biomasu, spaľujúcej najlepšie obilniny, je  $0,2 \text{ W/m}^2$ . Ak namiesto toho pestujeme obilniny na jedlo a použijeme zvyšky jedla, ktoré nezjeme, do elektrárne – alebo dáme jedlo kurčatám a ich zvyšky vrátime späť do elektrárne – aký výkon by sme získali z jednotky plochy farmy? Poďme vykonať hrubý odhad a potom sa pozrime na niektoré skutočné údaje. Pre hrubý odhad si predstavme, že vedľajšie poľnohospodárske produkty sa zberajú z polovice plochy Veľkej Británie ( $2\,000 \text{ m}^2$  na osobu) a dodávajú sa do elektrární, a že vo všeobecnosti dodajú vedľajšie poľnohospodárske produkty  $10\%$  množstva výkonu na jednotku plochy ako najlepšie energetické plodiny, t. j.  $0,02 \text{ W/m}^2$ . Vynásobením tejto hodnoty s  $2\,000 \text{ m}^2$  získame  $1 \text{ kWh/d}$  na osobu.

Bol som nespravodlivý k poľnohospodárskemu odpadu, keď som urobil takýto hrubý odhad? Môžeme znovu prehodnotiť prijateľnú produkciu zo zvyškov jedla z poľnohospodárstva zovšeobecnením prototypu elektrárne na spaľovanie slamy v Elean na východe Veľkej Británie. Vystupujúci výkon z Elean je  $36 \text{ MW}$  a ročne využíva  $200\,000$  ton z pôdy, ktorá sa nachádza v okolí  $50$  míľ. Ak by sme predpokladali, že túto hustotu možno použiť pre celú krajinu, model elektrárne poskytuje  $0,02 \text{ W/m}^2$ . Pri  $4\,000 \text{ m}^2$  na osobu to predstavuje  $8 \text{ W}$  na osobu alebo  $0,2 \text{ kWh/d}$  na osobu.

Poďme to spočítať iným spôsobom. Produkcia slamy vo Veľkej Británii je  $10$  mil. ton ročne alebo  $0,46 \text{ kg/d}$  na osobu. Pri  $42 \text{ kWh/kg}$  môže táto slama dodať chemickú energiu  $2 \text{ kWh/d}$  na osobu. Ak by sa všetka slama spaľovala v elektrárnach s  $30\%$  účinnosťou – to je návrh, ktorý by sa veľmi neujal u poľnohospodárskych zvierat, ktoré využívajú slamu inak – vyrobená elektrina by mohla byť  $0,6 \text{ kWh/d}$  na osobu.

### Skládkový plyn metán

V súčasnosti uniká väčšina metánu z odpadu, ktorý pochádza z biologických materiálov, najmä z potravinového odpadu. Dovtedy, kým budeme vyhadzovať jedlo či novinový papier, bude skládkový plyn obnoviteľným zdrojom. Navyše, spaľovanie tohto metánu môže byť dobrou myšlienkou z pohľadu klimatických zmien, pretože metán je silnejší skleníkový plyn ako  $\text{CO}_2$  [asi 25-krát účinnejší na kg za obdobie 100 rokov – pozn. prekl.]. Skládky uskladňujúca 7,5 mil. ton domového odpadu ročne môže produkovať 50 000  $\text{m}^3$  metánu za hodinu.

V roku 1994 sa emisie metánu zo skládok odhadovali na 0,05  $\text{m}^3$  za deň na osobu a s chemickou energiou 0,5 kWh/d na osobu. Keby sa všetko množstvo premenilo na elektrinu so 40% účinnosťou, môžu zabezpečiť 0,2 kWh/d na osobu. Emisie metánu zo skládok klesajú pre zmeny v legislatíve a teraz sú zhruba o 50 % nižšie.

### Spaľovanie komunálneho odpadu

SELCHP („South East London Combined Heat and Power“) [<http://www.selchp.com>] je tepláreň s elektrickým výkonom 35 MW, ktorá dokáže ročne spaľovať 420 kt komunálneho odpadu z londýnskej oblasti. Spaľuje všetok odpad bez triedenia. Železo sa po spálení odstráni a použije na recykláciu. Nebezpečné odpady sa filtrujú a posielajú na špeciálnu skládku. Zvyšný popol sa odosiela na spracovanie do recyklovaného materiálu na výstavbu ciest alebo konštrukcií. Výhrevnosť odpadu je 2,5 kWh/kg a tepelná účinnosť elektrárne okolo 21 %, t. j. 1 kg odpadu sa premení na 0,5 kWh elektriny. Emisie oxidu uhličitého sú približne 1 000 g  $\text{CO}_2$ /kWh. Z vyrobených 35 MW sa zhruba 4 MW použijú na vlastnú spotrebu spaľovne.

Ak túto myšlienku zovšeobecníme, a každá mestská časť, resp. mesto by malo jednu takúto spaľovňu, a každý obyvateľ by dodal 1 kg denne, potom by sme získali 0,5 kWh (e) za deň na osobu zo spaľovania odpadu.

Podobá sa to odhadu získanému zo zachytávania metánu zo skládok. Pamätajme, že nemôžeme mať oboje. Viac spaľovania odpadu znamená menej produkcie metánu zo skládok. Pozri obrázok 27.2 na strane 206 a obrázok 27.3 na strane 207 pre ďalšie údaje o spaľovaní odpadu.



Obrázok D.4 SELCHP – váš odpad je ich biznis.

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

**283** *Výkon na jednotku plochy pri využití vrby, ozdobnice alebo topoľa na elektrinu je 0,2 W/m<sup>2</sup>.* Zdroj: Select Committee on Science and Technology Minutes of Evidence – Memorandum from the Biotechnology and Biological Sciences Research Council [<http://www.publications.parliament.uk/pa/1d200304/1dselect/1dscitech/126/4032413.htm>]. „V severnej Európe je možné zabezpečiť trvalo udržateľným zberom 10 suchých ton drevnej biomasy na hektár za rok...“

Plocha 1 km<sup>2</sup> bude tak vyrábať 1 000 suchých ton/r – dostatok pre elektrický výkon 150 kW pri nízkej konverznnej účinnosti alebo 300 kW pri vysokej konverznnej účinnosti.“ To predstavuje 0,15 - 0,3 W/m<sup>2</sup>.

Pozri tiež Layzell a kol. (2006) [3ap71c].

- *Repka olejná.* Zdroje: Bayer Crop Science (2003), Evans (2007), <http://www.defra.gov.uk/>.

**284** *Cukrová repa.* Zdroj: <http://statistics.defra.gov.uk/esg/default.asp>

- *Bioetanol z kukurice.* Zdroj: Shapouri a kol. (1995).

- *Bioetanol z celulózy.* Pozri tiež Mabee a kol. (2006).

- *Jatrofa.* Zdroje: Francis a kol. (2005), Asselbergs a kol. (2006).

**285** *V Amerike, v jazerách s dodávaným koncentrovaným CO<sub>2</sub>, rastú riasy rýchlosťou 30 gramov na štvorcový meter za deň a vyrobia tak 0,01 litra bionafty.* Zdroj: Putt (2007). Tento výpočet zanedbal energetický náklad údržby jazera a spracovanie rias na bionaftu. Putt (2007) opisuje energetickú bilanciu navrhovaného projektu pre 100-akrovú farmu s riasami, poháňanú metánom bioplynovej stanice na odpad zo zvierat. Navrhovaná farma by v skutočnosti vyrábala menej energie, ako by bolo množstvo získanej energie z metánu. Potrebovala by 2 600 kW metánu, čo zodpovedá vstupnej koncentrácii energie 6,4 W/m<sup>2</sup>. Výstupná koncentrácia energie vo forme bionafty by bola iba 4,2 W/m<sup>2</sup>. Všetky návrhy výroby biopalív by sme mali hodnotiť veľmi kriticky!

- *Štúdia Národného laboratória pre obnoviteľnú energiu v Colorade predpovedala, že reaktor naplnený geneticky upravenými riasami s rozlohou 11 hektárov v Arizonskej púšti by mohol vyrábať až 300 kg vodíka za deň.* Zdroj: Amos (2004).

- *Elektráreň v Elean:* Zdroj: Government White Paper (2003). Elektráreň v Elean (36 MW) – prvá elektráreň na spaľovanie slamy. *Výroba slamy:* [www.biomasse-energycentre.org.uk](http://www.biomasse-energycentre.org.uk).

**287** *Skládkový plyn.* Zdroje: Matthew Chester City University, London, osobná komunikácia; Meadows (1996), Aitchison (1996); Alan Rosevear, (UK representative on methane to markets landfill gas sub- committee), máj 2005 [[http://www.methanetomarkets.org/resources/landfills/docs/uk\\_lf\\_profile.pdf](http://www.methanetomarkets.org/resources/landfills/docs/uk_lf_profile.pdf)].





## E Vykurovanie II

Dokonale utesnené a tepelne izolované budovy by mohli udržať teplo navždy a nepotrebovali by vykurovať. Dve hlavné príčiny, prečo budovy strácajú teplo, sú:

1. **Vedenie** – teplo prúdi priamo cez steny, okná a dvere;
2. **Vetranie** – teplý vzduch prúdi von cez trhliny, netesnosti alebo vzduchotechnické potrubie.

V štandardných modeloch strát tepla sú oba tieto tepelné toky priamo úmerné teplotnému rozdielu medzi vzduchom vnútri a vonku. Pre typický britský dom hrá z týchto dvoch strát väčšiu úlohu vedenie, ako uvidíte neskôr.

### Straty vedením

Množstvo tepla prechádzajúceho vedením (kondukciou) cez stenu, strop, podlahu alebo okno, závisí od troch faktorov: plocha steny, miera tepelnej vodivosti steny nazývaná „U-hodnota“ alebo súčiniteľ prechodu tepla a teplotný rozdiel:

tepelné straty prechodom = plocha × U × teplotný rozdiel

U-hodnota sa obyčajne meria vo  $W/(m^2 \cdot K)$ . (Jeden Kelvin (1 K) je to isté ako jeden stupeň Celzia (1 °C)). Vyššia U-hodnota znamená vyššie tepelné straty prechodom. Čím je hrubšia stena, tým je nižšia jej U-hodnota. Dvojsklo je podobné ako pevná tehlová stena (pozri tab. E.2).

U-hodnota vrstiev, ktoré sú usporiadané v „sérii“, ako napr. stena a jej vnútorné obloženie, možno vypočítať rovnako ako sa počítajú elektrické vodivosti:

$$u_{\text{sériové radenie}} = \frac{1}{\frac{1}{u_1} + \frac{1}{u_2}}$$

Príklad použitia tohto pravidla je uvedený na strane 296.

### Straty vetraním

Na určenie tepla potrebného na ohriatie prichádzajúceho studeného vzduchu potrebujeme tepelnú kapacitu vzduchu  $1,2 \text{ kJ}/(m^3 \cdot K)$ .

V stavebnom priemysle sa bežne opisujú tepelné straty spôsobené vetraním priestoru ako výsledok počtu výmien vzduchu za hodinu  $N$ , objemom priestoru  $V$  v kubických metroch, tepelnou kapacitou  $C$  a teplotným rozdielom  $\Delta T$  medzi vnútorným a vonkajším priestorom budovy.



Kuchyňa	2
Kúpeľňa	2
Chodba	1
Spálňa	0,5

Tabuľka E.1 Počet výmien vzduchu za hodinu: typické hodnoty  $N$  pre mierne utesnené miestnosti. Viac netesné izby môžu mať  $N = 3$  výmeny vzduchu za hodinu. Odporúčaná minimálna hodnota výmeny vzduchu je medzi 0,5 a 1 (t. j. 50 - 100 %) za hodinu. Poskytuje dostatok čerstvého vzduchu pre ľudské zdravie, bezpečné spaľovanie paliva a zabraňuje tak vysokej vlhkosti v zime, ktorá by mohla škodiť konštrukcii budovy (EST, 2003).

Tabuľka E.2 U-hodnoty stien, podláh, stropu a okien.

	U-hodnota (W/(m <sup>2</sup> /K))		
	Staré budovy	Novšie budovy	Najlepšie budovy
Steny		0,45 - 0,6	0,12
Plná murovaná stena	2,4		
Vonkajšia stena: 9-palcová plná tehla	2,2		
Stena z tehlových tvaroviek s medzerami, nevyplnená (11')	1,0		
Stena z tehlových tvaroviek s medzerami, vyplnená izoláciou (11')	0,6		
Podlahy		0,45	0,14
Podlaha zo závesných trémov	0,7		
Betónová podlaha	0,8		
Strechy		0,25	0,12
Plochá strecha s 25 mm izoláciou	0,9		
Šikmá strecha so 100 mm izoláciou	0,3		
Okná			1,5
S jedným sklom	5,0		
S dvojsklom	2,9		
S izolačným dvojsklom, 20 mm medzera	1,7	1,7	
S izolačným trojsklom	0,7 - 0,9	0,7 - 0,9	0,7 - 0,9

$$\text{výkon (watty)} = C \cdot \frac{N}{1 \text{ h}} \cdot V(\text{m}^3) \cdot \Delta T(\text{K}) \quad (\text{E.1})$$

$$= (1,2 \text{ kJ} / \text{m}^3 / \text{K}) \cdot \frac{N}{3600 \text{ s}} \cdot V(\text{m}^3) \cdot \Delta T(\text{K}) \quad (\text{E.2})$$

$$= \frac{1}{3} \cdot N \cdot V \cdot \Delta T. \quad (\text{E.3})$$

*Straty energie a potrebný teplotný rozdiel (dennošupne)*

Pretože energia je výkon × čas, môžeme napísať straty energie vedením cez plochu za určitý čas ako

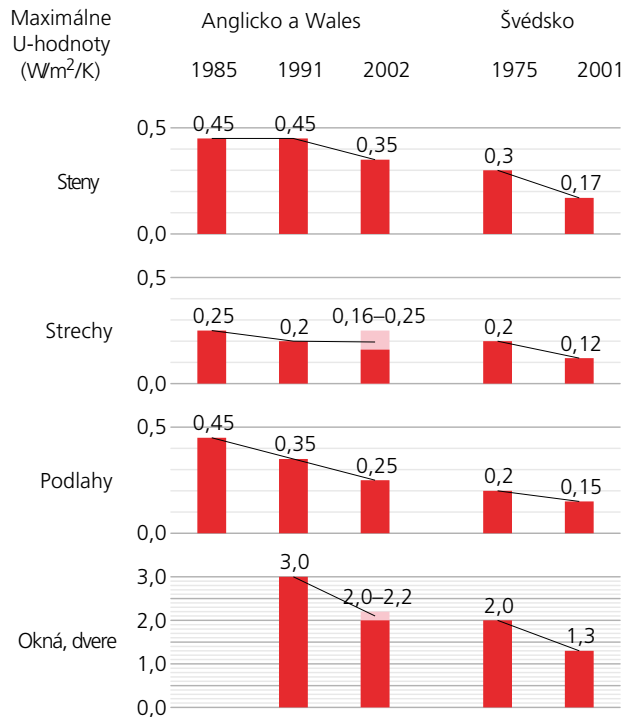
$$\text{straty energie} = \text{plocha} \cdot U \cdot (\Delta T \cdot \text{doba})$$

a straty energie vetraním ako

$$\frac{1}{3} \cdot N \cdot V \cdot (\Delta T \cdot \text{doba}).$$

Obe tieto straty energie majú podobu

$$\text{niečo} \cdot (\Delta T \cdot \text{doba}),$$



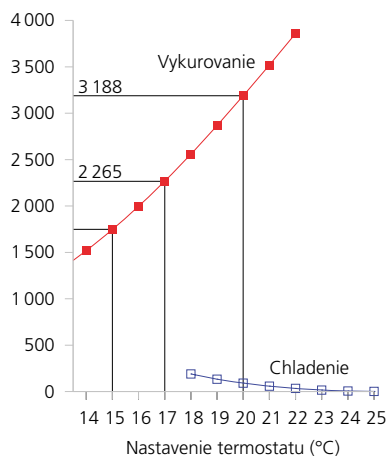
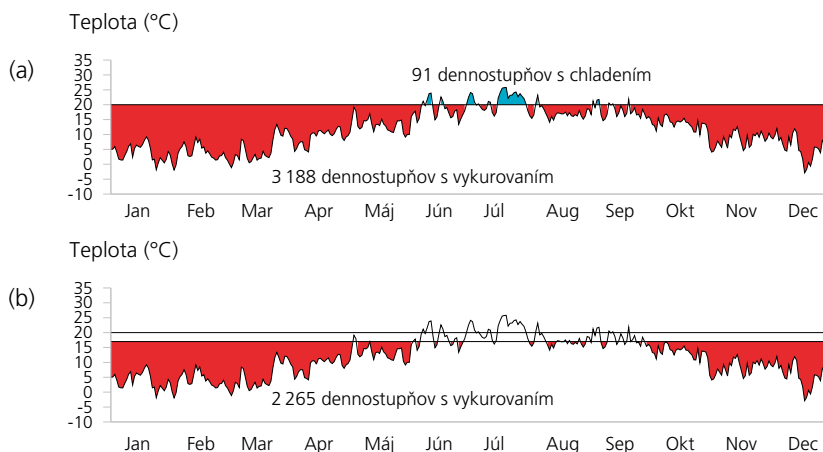
Obrázok E.3 U-hodnoty požadované starými predpismi vo Veľkej Británii a vo Švédsku.

kde sa „niečo“ meria vo wattoch na °C. Keď sa stmieva a menia sa ročné obdobia, menia sa aj teplotné rozdiely  $\Delta T$ . Môžeme potom uvažovať o dlhom období rozdelenom na kratšie časové úseky, pričom počas každého z nich je teplotný rozdiel zhruba konštantný. Medzi časovými úsekmi sa teplotné rozdiely menia, ale „niečo“ sa nemení. Keď počítame straty celého priestoru spôsobené vedením a vetraním počas nejakého dlhého obdobia, potrebujeme v takomto prípade vynásobiť dva faktory:

1. súčet všetkých **niečo** (sčítaním  $\text{plochy} \cdot U$  pre všetky steny, stropy, podlahy, dvere a okná a  $\frac{1}{3} \cdot N \cdot V$  pre objem); a
2. súčet všetkých teplotných rozdielov  $\times$  faktory časových úsekov (pre všetky časové úseky).

Prvý faktor je vlastnosť stavby meraná vo  $W/^\circ C$ . Budeme hovoriť o *tepelnej priepustnosti budovy* (tepelná priepustnosť budovy sa niekedy nazýva *koefficient straty tepla*). Druhý faktor je vlastnosť počasia. Často sa vyjadruje ako počet „dennostupňov“, pretože teplotný rozdiel sa meria v stupňoch a dni sú vhodná jednotka na uvažovanie o časových úsekoch. Napr., ak je jeden týždeň v interiéri vášho domu  $18^\circ C$  a v okolí domu  $8^\circ C$ , potom hovoríme, že týždeň celkovo prispel  $10 \cdot 7 = 70$  dennostupňami ( $\Delta T \cdot \text{doba}$ ) k tejto sume. Sumu všetkých ( $\Delta T \cdot \text{doba}$ ) faktorov budem nazývať ako požadovaný *rozdiel teplôt* v danom čase.

Obrázok E.4 Požadovaný teplotný rozdiel v Cambridgei, 2006, znázornený ako plocha na grafe denných priemerných teplôt. (a) Termostat nastavený na 20 °C, zahŕňa aj chladenie v lete. (b) Termostat v zime nastavený na 17 °C.



Obr. E.5 Požadovaný teplotný rozdiel v Cambridgei, v dennostupňoch za rok ako funkcia nastavenia termostatu (°C). Zníženie termostatu v zime z 20 °C na 17 °C, zníži spotrebu tepla na vykurovanie o 30 % z 3 188 na 2 265 dennostupňov. Zvýšenie termostatu v lete z 20 °C na 23 °C zníži spotrebu tepla na chladenie o 82 % z 91 na 16 dennostupňov.

[\*Pri najnovších zariadeniach sa už udáva účinnosť 95 % a len 5 % odíde hore komínom – pozn. prekl.]

Straty energie = priepustnosť × rozdiel teplôt.

Naše straty energie môžeme obmedziť znížením tepelnej priepustnosti budovy alebo znížením požadovanej teploty, alebo oboma spôsobmi. V nasledujúcich častiach knihy sa týmto dvom faktorom venujeme podrobnejšie pri názornom rozbere domu v Cambridge.

Existuje ešte tretí faktor, s ktorým musíme počítať. Straty energie nahrádza vykurovací systém v budove a ďalšie zdroje energie, ako sú napr. obyvatelia budovy, ich prístroje, variče a slnečné žiarenie. V prípade vykurovacieho systému nie je energia dodávaná vykurovaním rovnaká ako energia *spotrebovaná* vykurovaním. Ich vzájomný vzťah definuje *účinnosť* vykurovacieho systému.

Spotrebovaná energia = dodaná energia / účinnosť.

Ak máme napr. kondenzačný kotol na zemný plyn, účinnosť je 90 %, pretože 10 % energie sa stratí cez komín\*.

Keď to zhrnieme, spotrebu energie v budove môžeme znížiť tromi spôsobmi:

1. Znížením požadovanej teploty (teplotného rozdielu).
2. Znížením tepelných strát budovy.
3. Zvýšením účinnosti vykurovacieho systému.

Teraz môžeme kvantifikovať potenciál týchto možností. (Štvrtá možnosť – zvýšenie tepelných ziskov, najmä zo slnečného žiarenia – môže byť tiež užitočná, ale tu sa tomu venovať nebudem.)

### Požadovaný teplotný rozdiel

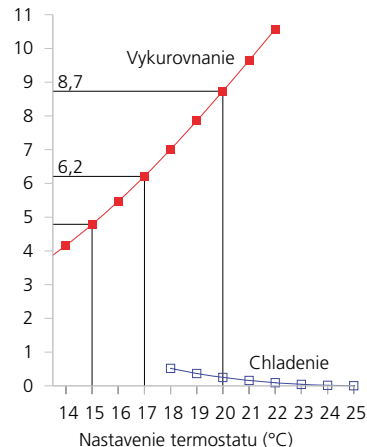
Požadovaný teplotný rozdiel môžeme znázorniť grafom závislosti vonkajšej teploty od času (obr. E.4). V budovách, kde sa teplota udržiava na 20 °C, je celkový požadovaný teplotný rozdiel *plocha* medzi horizontálnou čiarou pri 20 °C a vonkajšou teplotou. Na obrázku E.4(a) môžeme vidieť, že za jeden rok v Cambridgei bol udržiavaním teploty na 20 °C počas roka dosiahnutý požadovaný teplotný rozdiel 3 188 dennostupňov na vykurovanie a 91 dennostupňov na chladenie. Tieto obrázky nám umožňujú ľahko ohodnotiť vplyv zníženia teploty nastavenej na termostate a bývania bez klimatizácie. Nastavením teploty termostatu v zime na 17 °C klesol počet dennostupňov z 3 188 dennostupňov na 2 265 dennostupňov (obr. E.4(b)), čo zodpovedá 30% zníženiu potreby tepla na vykurovanie. Znížením teploty na termostate na 15 °C klesne požadovaný teplotný rozdiel z 3 188 dennostupňov na 1 748 dennostupňov, čo zodpovedá 45% zníženiu.

Tieto výpočty nám poskytujú presný odhad výhod znižovania teploty nastavenej na termostatoch, iba ak do výpočtu zahrnieme dva detaily. Po prvé, budovy prirodzene absorbujú energiu zo slnečného žiarenia, ktorá zvyšuje vnútornú teplotu nad tú vonkajšiu bez akéhokoľvek vykurovania. Po druhé, obyvatelia budovy a ich spotrebiče vydávajú teplo, čo ďalej znižuje potrebu vykurovania. Je trochu nepraktické vyjadrovať požadovaný teplotný rozdiel v danej lokalite. Zdá sa mi ťažké zapamätať si čísla typu „3 500 dennostupňov“. Aj pre anglických akademikov môže byť jednotka „dennostupeň“ nevhodná, pretože oni už pre túto jednotku majú iný význam (označujú tak prezliekanie do slávnostných šiat a baretov počas promócií). Hodnota veličiny bude mať lepší zmysel a možno aj ľahšiu použiteľnosť, ak ju podelíme číslom 365, teda počtom dní v roku a získame tak spotrebu tepla v „dennostupňoch na deň“, alebo ak chcete jednoduchšie, v „stupňoch“. Obrázok E.6 zobrazuje takto vykreslený požadovaný teplotný rozdiel. Vtedy predstavuje požadovaný teplotný rozdiel jednoducho *priemerný* rozdiel teplôt medzi vnútrajškom a vonkajškom, ak je vonku chladnejšie. Zvýraznený je požadovaný teplotný rozdiel: 8,7 °C pre nastavenie termostatu na 20 °C; 6,2 °C pre nastavenie 17 °C a 4,8 °C pre nastavenie 15 °C.

*Tepelná priepustnosť budovy - príklad: môj dom.*

Bývam v trojizbovom dvojdome, postavenom okolo roku 1940 (obr. E.7). V roku 2006 bola jeho kuchyňa trochu rozšírená a väčšina okien bola dvojito zasklených. Predné a zadné dvere boli zasklené jedným sklom.

Môj odhad tepelnej priepustnosti budovy v roku 2006 ukazuje tabuľka E.8. Celková tepelná priepustnosť domu bola 322 W/°C (alebo 7,7 kWh/d/°C), so stratami vedením 72 % a vetraním 28 %. Straty vedením sú zhruba rovnako rozdelené do troch častí: okná, steny, podlaha a strop. Môj odhad tepelnej priepustnosti budovy v roku 2006 ukazuje tabuľka E.8.



Obrázok E.6 Požadovaný teplotný rozdiel v Cambridgei v roku 2006 v „dennostupňoch na deň“. Na obrázku je uvedená závislosť spotreby tepla pri dodržiavaní rovnakého rozdielu vonkajšej a vnútornej teploty pri rôznej vonkajšej teplote.



Obrázok E.7 Môj dom.

Tabuľka E.8 Výpis merných tepelných strát vedením a vetraním v mojom dome pred rokom 2006. Strednú stenu som považoval za takú, ktorou neuniká teplo. No nemusí to byť správne, ak je medzera medzi príľahlými domami dobre prevetrávaná.

Zvýraznil som parametre, ktoré som zmenil po roku 2006.

\*MTSK – Merná tepelná strata konštrukcie.

MERNÁ TEPELNÁ STRATA VEDENÍM	Plocha (m <sup>2</sup> )	U-hodnota (W/m <sup>2</sup> /°C)	MTSK* (W/°C)
<b>Horizontálne povrchy</b>			
Šikmá strecha	48	0,6	28,8
Plochá strecha	1,6	3	4,8
Podlaha	50	0,8	40
<b>Vertikálne povrchy</b>			
Steny v dostavbe	24,1	0,6	14,5
Hlavné steny	50	1	50
Tenké steny (päťpalcové)	2	3	6
Okná a dvere s jedným sklom	7,35	5	36,7
Okná s dvojitým sklom	17,8	2,9	51,6
<b>Celková merná tepelná strata vedením</b>			<b>232,4</b>
MERNÁ TEPELNÁ STRATA VETRANÍM	Objem (m <sup>3</sup> )	N (výmena vzduchu za hodinu)	MTSK* (W/°C)
Spálne	80	0,5	13,3
Kuchyňa	36	2	24
Chodba	27	3	27
Ostatné izby	77	1	25,7
<b>Celková merná tepelná strata vetraním</b>			<b>90</b>

Aby sme mohli porovnať tepelné priepustnosti (vyplývajúce z merných tepelných strát) dvoch domov, ktoré majú rozdielne plochy podláh, môžeme tepelnú priepustnosť budovy podeliť plochou. Z toho získame *koeficient tepelných strát*, ktorý sa meria v jednotkách W/°C/m<sup>2</sup>. Koeficient tepelných strát tohto domu (celková plocha domu je 88 m<sup>2</sup>) je

$$3,7 \text{ W/°C/m}^2.$$

Použijeme tieto hodnoty pre odhad dennej spotreby energie v dome počas studeného zimného dňa a počas celého roka.

Pri vonkajšej teplote -1 °C a vnútornej teplote 19 °C je počas studeného dňa teplotný rozdiel  $\Delta T = 20$  °C. Ak sa tento rozdiel zachová 6 hodín v priebehu dňa, potom sú denné straty energie

$$322 \text{ W/°C} \cdot 120 \text{ hodinových stupňov} \approx 39 \text{ kWh.}$$

Ak sa teplota udržiava celý deň na 19 °C, denné straty energie sú

$$155 \text{ kWh/d.}$$

Na výpočet ročných strát energie môžeme vziať požadovaný teplotný rozdiel v Cambridgei z obr. E.5. Požadovaný teplotný rozdiel v roku 2006 pri nastavení termostatu na 19 °C bol 2 866 dennostupňov. Priemerná hodnota tepelných strát, ak je v dome vždy 19 °C, je potom:

$$7,7 \text{ kWh/d/°C} \cdot 2 \text{ 866 dennostupňov/rok} / (365 \text{ dní/rok}) = 61 \text{ kWh/d.}$$

Znížením termostatu na 17 °C klesnú priemerné straty tepla na 48 kWh/d. Nastavením termostatu na 21 °C je priemerná hodnota straty tepla 75 kWh/d.

#### Vplyv dodatočnej tepelnej izolácie

V roku 2007 som urobil na svojom dome nasledujúce úpravy:

1. Vyplnenie dutín v stenách tepelnoizolačným materiálom – (ktorý pôvodne v hlavných stenách domu nebol) – obrázok 21.5.
2. Zlepšenie tepelnej izolácie strechy.
3. Pridanie nových predných dverí zvonku starých dverí – obrázok 21.6.
4. Výmena zadných dverí za dvere s dvojitým sklom.
5. Výmena okna s jednoduchým sklom za okno s dvojitým sklom.

Aké sú odhadované zmeny v tepelných stratách?

Celkové tepelné priepustnosti pred úpravami boli 322 W/°C.

Pridanie ďalšej izolácie (nová hodnota  $U = 0,6$ ) k hlavným stenám znížilo tepelnú priepustnosť domu o 20 W/°C. Zlepšenie izolácie podkrovia (nová hodnota  $U = 0,3$ ) by mohlo znížiť tepelnú priepustnosť o 14 W/°C. Výmena okien (nová hodnota  $U = 1,6 - 1,8$ ) by mohla znížiť tepelnú priepustnosť vedením o 23 W/°C a tepelnú priepustnosť vetraním približne o 24 W/°C. Celkové zníženie tepelnej priepustnosti budovy je cca 25 %, z 320 na 240 W/°C (zo 7,7 na 6 kWh/d/°C).

Koeficient tepelných strát domu (celková plocha 88 m<sup>2</sup>) sa takto zníži z 3,7 na 2,7 W/°C/m<sup>2</sup>. (To je ešte veľmi ďaleko k 1,1 W/°C/m<sup>2</sup> požadovaných pre „trvalo udržateľný“ dom podľa nových stavebných predpisov.)

- Dodatočná tepelná izolácia vnútri stien (aplikované na dve tretiny plochy všetkých stien)	4,8 kWh/d
- Zlepšenie tepelnej izolácie stropu	3,5 kWh/d
- Zníženie strát vedením po dvojitom zasklení dvoch dverí a jedného okna	1,9 kWh/d
- Zníženie strát vetraním v chodbe a kuchyni po vylepšení dverí a okien	2,9 kWh/d

Tabuľka E.9 Výpis vypočítaného zníženia strát tepla v mojom dome počas chladného zimného dňa.

Je naozaj ťažké dosiahnuť skutočne veľkú zmenu tepelnej priepustnosti budovy v už postavenom dome! Ako sme mohli pred chvíľou vidieť, omnoho jednoduchší spôsob, ako dosiahnuť významné zníženie tepelných strát, je znížiť nastavenie teploty na termostatoch. Zníženie teploty z 20 na 17 °C vedie k zníženiu tepelných strát o 30 %.

Spojenie týchto dvoch akcií – fyzikálne zmeny a zníženie teploty nastavenej na termostate – by mohlo podľa nášho výpočtu viesť k zníženiu strát tepla takmer o 50 %. Pretože nejaké teplo do domu prináša slnečné žiarenie, zariadenia a obyvatelia, zníženie strát tepla, a tým aj spotreby plynu, by mohlo byť viac ako 50 %.

Urobil som všetky tieto zmeny na mojom dome a sledoval merače každý týždeň. Môžem potvrdiť, že spotreba tepla na vykurovanie sa znížila o viac ako 50 %. Ako je možné vidieť na obr. 21.4, moja spotreba plynu sa znížila zo 40 kWh/d na 13 kWh/d, t. j. zníženie o 67 %.

#### *Zníženie tepelnej priepustnosti budovy izoláciou stien z vnútornej strany*

Je možné izoláciou stien zvnútra znížiť úniky tepla? Odpoveď je „áno“, ale môžu sa vyskytnúť dva problémy. Prvý – hrúbka vnútornej izolácie je väčšia, ako môžeme očakávať. Zmena existujúcej 9-palcovej plnej tehlovej steny (hodnota  $U = 2,2 \text{ W/m}^2/\text{K}$ ) na menej zlú  $0,30 \text{ W/m}^2/\text{K}$  stenu si vyžaduje približne 6 cm izoláciu [65h3cb]. Druhý – na takýchto zaizolovaných stenách sa za vrstvou izolácie môže vyskytnúť kondenzácia, čo môže viesť k problémom.

Ak sa nechystáte dosiahnuť takéto veľké zníženie tepelnej priepustnosti stenami, môžete aplikovať tenšiu vnútornú izoláciu stien. Napr. si môžete kúpiť 1,8 cm hrubú izolačnú nástennú dosku s hodnotou  $U = 1,7 \text{ W/m}^2/\text{K}$ . S týmto je možné dosiahnuť zníženie hodnoty  $U$  s už existujúcou stenou z  $2,2 \text{ W/m}^2/\text{K}$  na:

$$1 / \left( \frac{1}{2,2} + \frac{1}{1,7} \right) \approx 1 \text{ W/m}^2/\text{K}.$$

Jednoznačne užitočné zníženie.

### **Výmena vzduchu**

Keď sa raz budova skutočne dobre zaizoluje, straty tepla bude spôsobovať hlavne vetranie (výmena vzduchu), a nie vedenie. Straty tepla spôsobené vetraním je možné znížiť prenosom tepla z odchádzajúceho vzduchu do prichádzajúceho vzduchu. Značná výhoda spočíva v tom, že väčšina tepla sa premiestni bez akejkoľvek spotreby dodatočnej energie. Podobne to funguje u ľudí. Náš nos pracuje tak, že otepluje vdychovaný studený vzduch pomocou tepla z vydychovaného vzduchu. Pozdĺž nosa je akási teplotná stupnica, nakoľko koniec nosa, pri nosných dierkach, je vždy najchladnejší. Čím je nos dlhší, tým lepšie funguje ako protiprúdový odovzdávač tepla. Prírodzene sa smer prúdenia vzduchu v nosných dierkach mení.



Nos môže tiež fungovať aj tak, že jeden kanál využíva na prúdenie vzduchu dovnútra (vdych) a druhý na prúdenie von (výdych). Vzduch je teda oddelený, ale oba kanály sú spojené spoločnou stenou. Teplo tak môže ľahko prúdiť medzi oboma z nich. Podobne to funguje aj v budovách. Štandardne sa takéto „nosy“ nazývajú tepelné výmenníky.

### Energeticky hospodárny dom

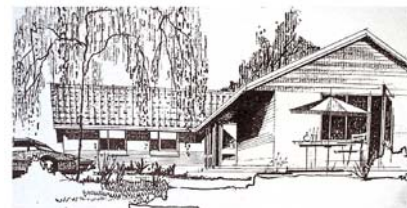
V roku 1984 postavil energetický konzultant Alan Foster blízko Cambridgea energeticky hospodárny dom. Ochotne mi poskytol svoje detailné merania. Jedná sa o bungalov postavený z drevenej rámovej konštrukcie na základe škandinávského dizajnu „Heatkeeper Serrekunda“ (obr. E.10) s podlahovou plochou 140 m<sup>2</sup>. Pozostáva z troch spální, pracovne, dvoch kúpeľní, obývacej izby, kuchyne a chodby. Drevené vonkajšie steny dodala škótska spoločnosť poskladané. Postavenie hlavných častí domu trvalo iba niekoľko dní.

Steny majú hrúbku 30 cm a ich U-hodnota je 0,28 W/m<sup>2</sup>/°C. Z vnútornej po vonkajšiu stranu pozostávajú steny z 13 mm sadrokartónu, 27 mm vzduchovej medzery, parozábrany, 8 mm preglejky, 90 mm minerálnej vlny, 12 mm hrubej asfaltovou živcou impregnovanej drevovláknitej dosky, 50 mm dutiny a 103 mm tehly. Stropná konštrukcia je podobná, s 100 - 200 mm izoláciou z minerálnej vlny. Strop má hodnotu U = 0,27 W/m<sup>2</sup>/°C a podlaha má U = 0,22 W/m<sup>2</sup>/°C. Okná majú dvojité sklo (U = 2 W/m<sup>2</sup>/°C). Vonkajší povrch vnútornej sklenej tabule má špeciálny povlak, aby znížil sálanie. Okná sú usporiadané tak, aby umožňovali významný slnečný zisk, a prispievajú tým k ohrievaniu priestoru v dome 30 %.

Dom je dobre utesnený. Každé dvere a okná majú neoprénové tesnenia. Dom sa vykuruje teplým vzduchom privádzaným cez podlahové mriežky. V zime ventilátory odvedú použitý vzduch z niekoľkých izieb, vypustia ho von a privedú dovnútra vzduch z priestoru podkrovia. Privádzaný a odvádzaný vzduch prechádza cez výmenník tepla (obr. E.11), ktorý odoberá 60 % tepla z odvádzaného vzduchu. Tepelný výmenník je pasívne zariadenie, ktoré nevyžaduje žiadnu energiu. Je to akoby veľký kovový nos ohrievajúci privádzaný vzduch odvádzaným vzduchom. Počas chladného zimného dňa bola teplota vonkajšieho vzduchu -8 °C. Teplota vzduchu v podkroví dosiahla 0 °C a teplota vzduchu, ktorý vychádzal z výmenníka bola +8 °C.

Počas prvej dekády dodávali teplo len elektrické ohrevné vložky, ohrievajúce 150 galónov (1 britský galón = 4,545 l) v zásobníku tepla počas nočnej tarify. Nedávno do domu zaviedli plyn a vykurovanie teraz zabezpečuje plynový kondenzačný kotol.

Straty tepla spôsobené vedením a vetraním predstavujú 4,2 kWh/d/°C. *Koeficient tepelných strát* (tepelná pripustnosť budovy na m<sup>2</sup> podlahovej plochy) je 1,25 W/m<sup>2</sup>/°C (na porovnanie, v mojom dome je to 2,7 W/m<sup>2</sup>/°C).



Obrázok E.10 Drevený bungalov škandinávského dizajnu Heatkeeper Serrekunda.



Obrázok E.11 Tepelný výmenník v dome Heatkeeper.

V dome, ktorý obývajú dvaja ľudia, bola priemerná spotreba energie na vykurovanie s termostatom nastaveným na 19 alebo 20 °C počas dňa 8 100 kWh/rok alebo 22 kWh/d. Celková spotreba energie na všetky účely bola okolo 15 000 kWh/rok alebo 40 kWh/deň. Vyjadrené v priemernom príkone na štvorcový meter podlahy to je **12,2 W/m<sup>2</sup>**.

Obrázok E.12 porovnáva spotrebu energie na jednotku plochy tohto domu s mojím domom (pred a po úpravách) a s európskych priemerom. Hodnota spotreby energie môjho domu po realizácii opatrení je blízko hodnote energeticky hospodárneho domu vďaka nižšiemu nastaveniu teploty na termostate.

### **Štandardy domov a administratívnych budov**

Nemecké oficiálne štandardy pre pasívne domy majú limity spotreby energie na ohrev a chladenie 15 kWh/m<sup>2</sup>/rok, čo je **1,7 W/m<sup>2</sup>**. V prípade celkovej spotreby to je 120 kWh/m<sup>2</sup>/rok, t. j. **13,7 W/m<sup>2</sup>**.

Priemerná spotreba energie v britskom sektore služieb na jednotku plochy je 30 W/m<sup>2</sup>.

#### *Energeticky hospodárna administratívna budova*

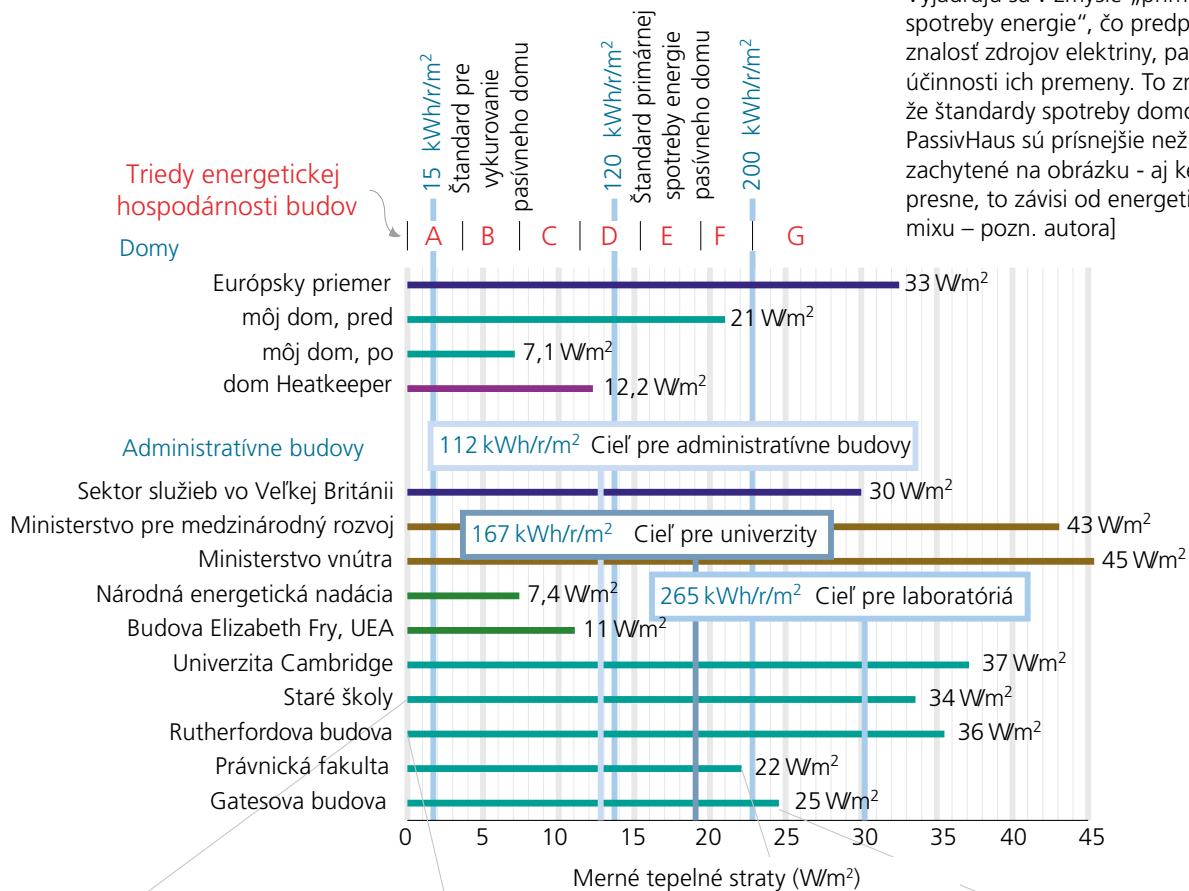
Národná energetická nadácia (NEF) postavila nízkonákladovú a nízkoenergetickú budovu pre vlastnú potrebu. Má slnečné kolektory na ohrev vody, fotovoltické panely (PV) s maximálnym výkonom 6,5 kW a vykuruje ju 14 kW tepelné čerpadlo využívajúce teplo zeme. Niekedy aj kachle na drevo. Podlahová plocha je 400 m<sup>2</sup> a počet používateľov je približne 30. Má jedno podlažie. Steny majú 300 mm izoláciu z minerálnej vlny. Výkonové číslo tepelného čerpadla v zime je 2,5. Spotrebovaná koncová energia je 65 kWh/rok/m<sup>2</sup> (**7,4 W/m<sup>2</sup>**). Fotovoltický systém dodáva takmer 20 % tejto energie.

#### *Moderné administratívne budovy*

Nové administratívne budovy sú z pohľadu environmentálnych vplyvov často vychvaľované až do neba. Poďme sa teda pozrieť na niektoré čísla.

V budove Williama Gatesa na Univerzite Cambridge sídli počítačové vedci, administrátori. Jej súčasťou je aj malá kaviareň. Rozloha budovy je 11 110 m<sup>2</sup> a spotreba energie v budove je 2 392 MWh za rok. Energia na jednotku plochy predstavuje 215 kWh/m<sup>2</sup>/rok, t. j. **25 W/m<sup>2</sup>**. Budova vyhrala ocenenie RIBA v roku 2001 pre jej predpokladanú spotrebu energie. „Architekti v budove združili množstvo environmentálne prijateľných prvkov.“ [5dhups].

Obrázok E.12 Spotreba energie na jednotku plochy v rôznych domoch a administratívnych budovách. [No pri takomto zjednodušenom porovnaní vznikol problém, pretože štandardy spotreby energie pre domy typu PassivHaus sa počítajú odlišne. Vyjadrujú sa v zmysle „primárnej spotreby energie“, čo predpokladá znalosť zdrojov elektriny, paliva ako aj účinnosti ich premeny. To znamená, že štandardy spotreby domov typu PassivHaus sú prísnejšie než údaje zachytené na obrázku - aj keď o koľko presne, to závisí od energetickeho mixu – pozn. autora]



Staré školy



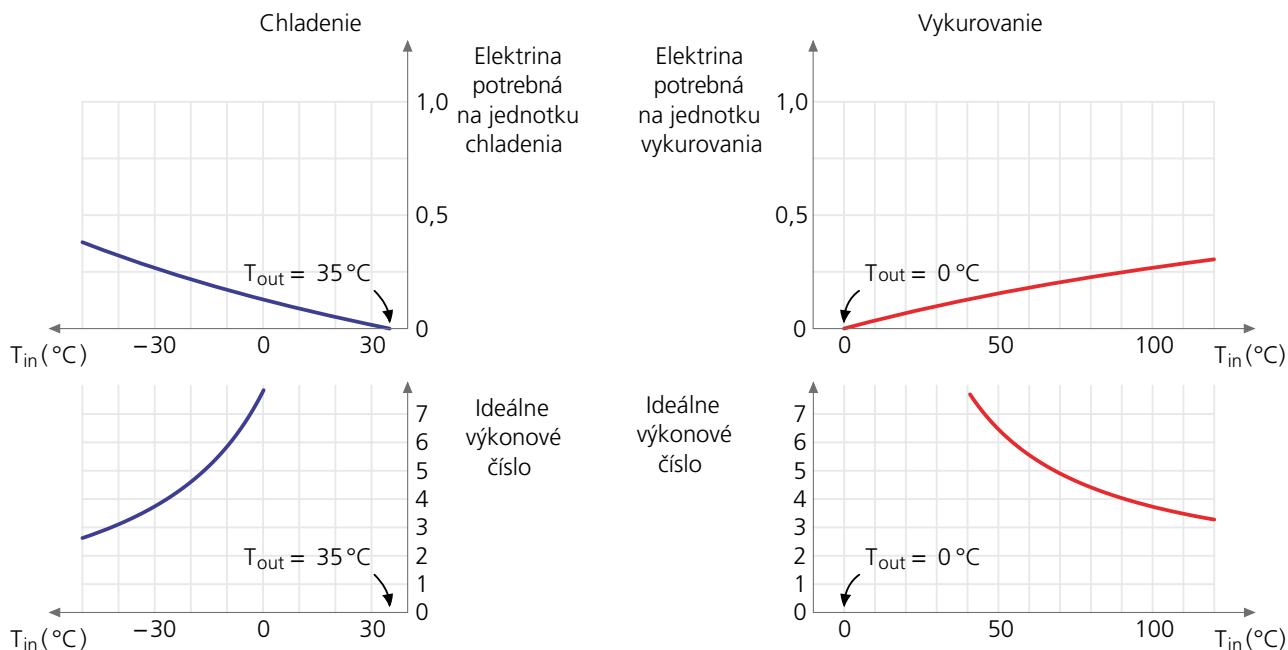
Rutherfordova budova



Právnická fakulta



Gatesova budova



Obrázok E.13 Účinnosť ideálnych tepelných čerpadiel. Vľavo hore: Ideálna požadovaná elektrina podľa limitov termodynamiky potrebná na odčerpanie tepla von z priestoru pri teplote  $T_{in}$ , keď je teplo čerpané do priestoru pri teplote  $T_{out} = 35$  °C. Vpravo: Ideálna požadovaná elektrina na čerpanie tepla do priestoru pri teplote  $T_{in}$ , keď sa teplo čerpá z priestoru pri teplote  $T_{out} = 0$  °C. Dolný rad: Účinnosť vyjadrená „výkonovým číslom“, ktoré znamená prečerpávané teplo na jednotku elektrickej práce. V praxi majú tepelné čerpadlá využívajúce teplo zeme a najlepšie tepelné čerpadlá využívajúce teplo vzduchu výkonové číslo 3 alebo 4. Nariadenia vlády v Japonsku však zabezpečujú výrobu podobných tepelných čerpadiel s výkonovým číslom až 6,6.

Sú tieto budovy naozaj také pôsobivé? Neďaleká budova (Rutherford), postavená v roku 1970 bez akýchkoľvek módnych ekopožiadaviek – samozrejme aj bez použitia okien s dvojitým sklom – má podlahovú plochu 4 998 m<sup>2</sup> a spotrebuje 1 557 MWh/rok, t. j. 0,85 kWh/d/m<sup>2</sup> alebo 36 W/m<sup>2</sup>. Ocenená budova je iba o 30 % lepšia, z hľadiska spotreby energie na jednotku plochy, ako jednoduchá budova z roku 1970.

Obrázok E.12 porovnáva tieto dve a ďalšie nové budovy: Právnickú fakultu s budovami starých škôl, kde sú staromódne kancelárie postavené pred rokom 1890. Vzhľadom na všetku tú slávu, rozdiely medzi novými a starými budovami sú veľkým sklamaním!

Všimnime si, že potreba energie na jednotku plochy má tú istú jednotku (W/m<sup>2</sup>) ako obnoviteľné zdroje energie na jednotku plochy, ktorým sme sa venovali na stranách 43, 47 a 177. Porovnanie čísel na strane spotreby a na strane výroby nám pomôže si uvedomiť, aké ťažké je moderné budovy zásobovať energiou z obnoviteľných zdrojov, ktorá sa vyrobí na mieste. Výkon na jednotku plochy pre biopalivá (obr. 6.11, str. 43) je 0,5 W/m<sup>2</sup>; pre veterné parky 2 W/m<sup>2</sup>; pre fotovoltiku 20 W/m<sup>2</sup> (obr. 6.18, str. 47); iba solárne tepelné kolektory majú dostatočný výkon na jednotku plochy 53 W/m<sup>2</sup> (obr. 6.3, str. 39).

### Zvýšenie výkonového čísla

Mohlo by sa zdať, že 90% [resp. 95% – pozn. prekl.] účinnosť moderného kondenzačného kotla je takmer nemožné prekonať. S použitím tepelných čerpadiel to však možné je. Zatiaľ čo starý kondenzačný kotol premieňa

chemickú energiu na využiteľné teplo pri účinnosti možno len 90 %, tepelné čerpadlo používa elektrinu na prenos tepla z jedného miesta na iné (napríklad z okolia budovy do jej vnútra). Množstvo dodaného užitočného tepla je zvyčajne významne vyššie, ako množstvo spotrebovanej elektriny. Výkonové číslo je bežne 3 až 4 (t. j. účinnosť 300 - 400 %).

### Teória tepelných čerpadiel

V tejto časti sú uvedené matematické vzťahy pre ideálnu účinnosť tepelných čerpadiel, t. j. elektrinu spotrebovanú na jednotku výkonu výstupného tepla. Ak čerpadlo čerpá teplo zvonka pri teplote  $T_1$  smerom dovnútra, kde je vyššia teplota  $T_2$  a obe teploty vztiahneme k absolútnej nule (t. j.  $T_2$  v kelvinoch sa vyjadri ako  $T_{in}$  v st. Celzia, ak sa použije  $273,15 + T_{in}$ ), ideálna účinnosť je:

$$\eta = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

Ak čerpáme teplo von z priestoru s teplotou  $T_2$  do teplejšieho exteriéru s teplotou  $T_1$ , ideálna účinnosť je:

$$\eta = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

Tieto teoretické limity je možné dosiahnuť iba pomocou systémov, ktoré čerpajú teplo nekonečne pomaly. Všimnime si, že účinnosť je tým väčšia, čím je hodnota vnútornej teploty  $T_2$  bližšie k hodnote vonkajšej teploty  $T_1$ .

Zatiaľ, čo tepelné čerpadlá využívajúce teplo zeme môžu mať teoreticky lepšiu účinnosť ako tepelné čerpadlá využívajúce teplo vzduchu, pretože teplota pôdy je obvyčajne bližšie k izbovej teplote ako teplota vzduchu, v skutočnosti môžu byť tepelné čerpadlá využívajúce teplo vzduchu tou najlepšou a najjednoduchšou voľbou. V mestách môže byť použitie tepelných čerpadiel využívajúcich teplo zeme v budúcnosti neisté, pretože čím viac ich ľudia v zime používajú, tým viac sa zem ochladzuje. Tento problém zmeny teploty (ale v opačnom smere) sa môže prejaviť aj v lete, keď sa používa príliš veľa tepelných čerpadiel využívajúcich zem na klimatizáciu.

### Vykurovanie a zem

Nižšie uvádzam zaujímavý výpočet. Predstavme si nasledovnú situáciu. Na streche sú solárne tepelné kolektory. Vždy keď dosiahnu  $50\text{ }^\circ\text{C}$ , voda sa začne čerpať do hornín pod našim domom. Vždy, keď prídu chmúrne zamračené mesiace, teplo v kameni sa použije na ohrev domu. Aké asi množstvo horniny je potrebné na uchovanie dostatočného množstva tepelnej energie na ohrev domu počas jedného mesiaca? Predpokladajme, že potrebujeme  $24\text{ kWh}$  denne počas 30 dní, a že v dome je teplota  $16\text{ }^\circ\text{C}$ . Tepelná kapacita žuly je  $0,195 \cdot 4200\text{ J/kg/K} = 820\text{ J/kg/K}$ . Požadovaná hmotnosť je:

$$\frac{\text{energia}}{\text{tepelná kapacita} \cdot \text{teplotný rozdiel}} = \frac{24 \cdot 30 \cdot 3,6\text{ MJ}}{(820\text{ J/kg}^\circ\text{C}) \cdot (50\text{ }^\circ\text{C} - 16\text{ }^\circ\text{C})} = 100\ 000\text{ kg}$$

---

Tepelná kapacita:	$C = 820\text{ J/kg/K}$
Vodivosť:	$\kappa = 2,1\text{ W/m/K}$
Hustota:	$\rho = 2\ 750\text{ kg/m}^3$
Tepelná kapacita na jednotku objemu:	$C_v = 2,3\text{ MJ/m}^3\text{K}$

---

Tabuľka E.14 Potrebná štatistika pre žulu. (Použil som žulu (granit) ako príklad pre typickú horninu.)

t. j. 100 ton, ktoré zodpovedajú kvádru horniny veľkosti 6 m x 6 m x 1 m.

### Akumulácia tepla v zemi bez stien

Určili sme veľkosť užitočného podzemného zásobníka. Je ťažké zabezpečiť, aby teplo neunikalo? Potrebujeme náš zásobník obkolesiť množstvom tepelnej izolácie? Zdá sa, že zem je sama osebe dobrým izolantom. Impulz tepla sa v zemi šíri podľa:

	(W/m/K)
Voda	0,6
Kremeň	8
Žula	2,1
Zemská kôra	1,7
Suchá pôda	0,14

Tabuľka E.15 Tepelné vodivosti.  
Pre viac informácií pozri tabuľku E.18 na strane 304.

$$\frac{1}{\sqrt{4\pi \cdot \kappa \cdot t}} \exp\left(-\frac{x^2}{4 \cdot (\kappa / (C \rho)) \cdot t}\right),$$

kde  $\kappa$  je vodivosť zeme,  $C$  je tepelná kapacita a  $\rho$  je jej hustota. Popisuje to krivku v tvare zvona so šírkou:

$$\sqrt{2 \cdot \frac{\kappa}{C \rho} \cdot t};$$

napríklad, po šiestich mesiacoch ( $t = 1,6 \cdot 10^7$  s), pomocou hodnôt pre žulu ( $C = 0,82$  kJ/kg/K,  $\rho = 2\,500$  kg/m<sup>3</sup>,  $\kappa = 2,1$  W/m/K), je šírka 6 m.

Použitím hodnôt pre vodu ( $C = 4,2$  kJ/kg/K,  $\rho = 1\,000$  kg/m<sup>3</sup>,  $\kappa = 0,6$  W/m/K) je šírka 2 m.

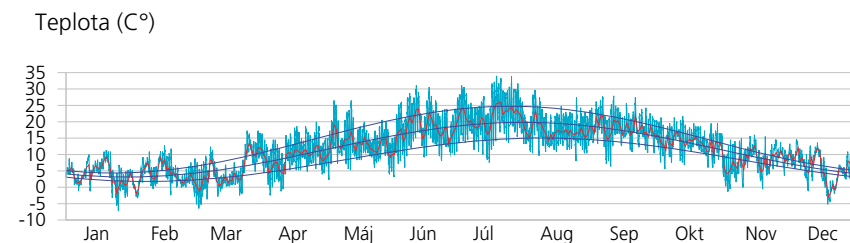
Ak je preto priestor na zásobník tepla väčší ako 20 m x 20 m x 20 m, väčšina uskladneného tepla určite zostane v zásobníku dlhšie ako 6 mesiacov [ak cezeň neprúdi spodná voda – pozn. prekl.].

### Limity tepelných čerpadiel využívajúcich teplo zeme

Nízka tepelná vodivosť zeme je dvojsečnou zbraňou. Vďaka nej udržiava zem teplo dlhší čas. Na druhej strane, nízka vodivosť znamená, že rýchlo uskladniť teplo dovnútra a čerpať ho von nie je jednoduché. Teraz ukážeme, ako vodivosť zeme limituje prevádzku tepelných čerpadiel využívajúcich teplo zeme.

Uvažujme o lokalite s pomerne vysokou hustotou obyvateľstva. Môže každý používať tepelné čerpadlo bez aktívneho doplnenia v lete (ako sme rozoberali na strane 152)? Vec sa má tak, že ak by sme všetci odčerpávali teplo zo zeme v rovnakom čase, mohli by sme zem zmraziť na kosť.

Obrázok E.16 Teplota v Cambridgei v roku 2006 a obrázok, ktorý ukazuje, že teplota je súčtom ročného sínusového kolísania medzi 3 °C a 20 °C a denného sínusového kolísania s rozsahom do 10,3 °C. Priemerná teplota je 11,5 °C.



Túto otázku vysvetlím pomocou dvoch výpočtov. Po prvé, vypočítam prirodzený tok energie prúdiacej do a von zo zeme v lete a v zime. Ak je nami požadovaný tepelný tok v zime oveľa vyšší ako tento prirodzený, vieme, že naša požiadavka spôsobuje značnú zmenu teploty zeme, a preto môže byť neprijateľná. Pri tomto výpočte budeme predpokladať, že teplotu zeme pod povrchom udržiava kombinovaný vplyv žiarenia Slnka, vzduchu, oblačnosti a nočnej oblohy. Tá sa počas roka mení iba pomaly (obr. E.16).

### Reakcia na zmeny vonkajších teplôt

Určiť, ako sa mení teplota vnútri zeme a aké sú toky tepelnej energie prúdiacej do a von z nej, si vyžaduje trochu viac matematiky, ktorú som uviedol v tabuľke E.19 (str. 306).

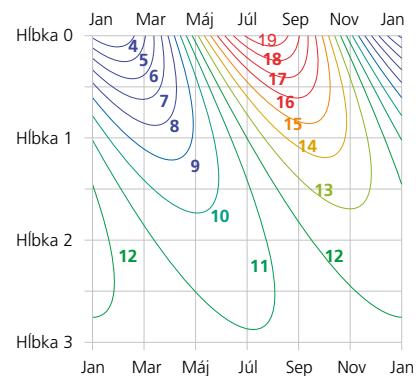
Výsledkom tohto výpočtu je názorný diagram (obr. E.17), ktorý ukazuje zmenu teplôt v čase v rôznych hĺbkach zeme. Poskytuje údaje pre každý materiál v zmysle charakteristickej dĺžky  $z_0$  (rovnica (E.7)), ktorá závisí od vodivosti  $\kappa$  a tepelnej kapacity  $C_v$  materiálu a od frekvencie  $\omega$  zmien vonkajšej teploty (použitím tejto metódy si môžeme vybrať pohľad buď na denné alebo na ročné zmeny). V prípade denných zmien a pevnej žuly je charakteristická dĺžka  $z_0 = 0,16$  m (takže 32 cm vrstva kameňa je hrúbka, ktorú potrebujeme na prekonanie vonkajších zmien teploty). Pre ročné zmeny a žulu je charakteristická dĺžka  $z_0 = 3$  m.

Podme sa zamerať na ročné zmeny a rozoberme zopár materiálov. Charakteristické dĺžky pre rôzne materiály sú v treťom odseku tabuľky E.18. Pre vlhké piesočnaté pôdy alebo betón je charakteristická dĺžka  $z_0$  podobná dĺžke pri žule – okolo 2,6 m. V suchých alebo rašelinových pôdach je dĺžka  $z_0$  kratšia – okolo 1,3 m. To je možno dobrá správa, pretože to znamená, že nemusíme kopať hlboko, aby sme sa dostali k zemi so stálou teplotou. Je to však spojené s niektorými zlými správami: prirodzené toky sú v suchých pôdach nižšie.

Prirodzený tok sa mení počas roka a má maximálnu hodnotu (rovnica (E.9)), ktorá je tým menšia, čím menšia je vodivosť.

Tuhá žula má maximálnu hodnotu tepelného toku  $8 \text{ W/m}^2$ . Pri suchých pôdach je maximálna hodnota medzi  $0,7 \text{ W/m}^2$  a  $2,3 \text{ W/m}^2$ . Vlhké pôdy majú maximálnu hodnotu od  $3 \text{ W/m}^2$  do  $8 \text{ W/m}^2$ .

Čo to znamená? Navrhujem zobrať hodnotu toku v strede týchto čísel  $5 \text{ W/m}^2$ , ako užitočný štandard. Ten poskytne predstavu o tom, aký výkon by sme mohli získať na jednotku plochy s použitím tepelných čerpadiel využívajúcich teplo zeme. Ak čerpáme tok významne menší ako  $5 \text{ W/m}^2$ , rozdiel oproti prirodzeným tokom je malý. Ak na druhej strane skúsime čerpať viac ako  $5 \text{ W/m}^2$ , je možné očakávať, že značne zmeníme teplotu zeme oproti jej prirodzenej teplote. Dosiahnuť takéto toky môže byť nemožné.



Obrázok E.17 Teplota (v °C) vo vzťahu k hĺbke a času. Hĺbky sú dané v jednotkách charakteristických hĺbok  $z_0$ , ktorá je pre žulu a ročné zmeny 3 m. Pri „hĺbke 2“ (6 m), je teplota stále okolo 11 alebo 12 °C. Pri „hĺbke 1“ (3 m), kmitá teplota medzi 8 a 15 °C.

Typická hustota obyvateľstva na predmestí Veľkej Británie je 160 m<sup>2</sup> na osobu (rady dvojdomov s približne 400 m<sup>2</sup> na dom, vrátane chodníkov a ulíc). Pri tejto hustote obývaných oblastí môžeme vypočítať, že limit pre dodávku tepla pre tepelné čerpadlo je

$$5 \text{ W/m}^2 \cdot 160 \text{ m}^2 = 800 \text{ W} = 19 \text{ kWh/d na osobu.}$$

Je to príliš ďaleko od hodnoty výkonu, ktorý by sme radi dodávali v zime. Naša maximálna potreba tepla na ohrev vzduchu a vody v dome, ako je ten môj, môže byť až 40 kWh/d na osobu.

Tento výpočet predpokladá, že v typickej predmestskej oblasti nemôže každý používať tepelné čerpadlá využívajúce teplo zeme. Mohlo by to tak byť len vtedy, ak bude v letných mesiacoch každý aktívne dodávať teplo späť do zeme.

Urobme druhý výpočet, v ktorom zistíme, koľko výkonu by sme mohli stabilne čerpať zo zeme z hĺbky  $h = 2 \text{ m}$ . Predpokladajme, že čerpaním znížime teplotu o  $\Delta T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  pod priemernú teplotu na povrchu zeme a predpokladajme, že teplota na povrchu je konštantná. Potom môžeme určiť tepelný tok. Pri predpoklade vodivosti 1,2 W/m/K (typická pre vlhkú ílovitú pôdu),

$$\text{Tok} = \kappa \cdot \Delta T/h = 3 \text{ W/m}^2.$$

Tabuľka E.18 Tepelná vodivosť a tepelná kapacita rôznych materiálov a typov pôd a určená charakteristická dĺžka

$$z_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{C_v \cdot \omega}}$$

a maximálny tok

$$A \cdot \sqrt{C_v \cdot \kappa \cdot \omega}$$

priradené k rôznym ročným zmenám teploty s amplitúdou  $A = 8,3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Piesočnaté a ílovité pôdy majú pórovitosť 0,4, rašelinové pôdy 0,8.

	Tepelná vodivosť $\kappa$ (W/m/K)	Tepelná kapacita $C_v$ (MJ/m <sup>3</sup> /K)	Char. dĺžka $Z_0$ (m)	Tok $A \cdot \sqrt{C_v \cdot \kappa \cdot \omega}$ (W/m <sup>2</sup> )
Vzduch	0,02	0,0012		
Voda	0,57	4,18	1,2	5,7
Granit	2,1	2,3	3	8,1
Betón	1,28	1,94	2,6	5,8
<i>Piesčité pôdy</i>				
Suchá	0,3	1,28	1,5	2,3
50 % nasýtená	1,8	2,12	2,9	7,2
100 % nasýtená	2,20	2,96	2,7	9,5
<i>Ílovitá pôda</i>				
Suchá	0,25	1,42	1,3	2,2
50 % nasýtená	1,18	2,25	2,3	6
100 % nasýtená	1,58	3,1	2,3	8,2
<i>Rašelina</i>				
Suchá	0,06	0,58	1	0,7
50 % nasýtená	0,29	2,31	1,1	3
100 % nasýtená	0,5	4,02	1,1	5,3



Ak uvažujeme s hustotou obyvateľstva 160 m<sup>2</sup> na osobu a faktom, že každý z obyvateľov používa tepelné čerpadlo, potom je maximálny výkon na osobu použitím tepelných čerpadiel využívajúcich teplo zeme 480 W, t. j. 12 kWh/d na osobu.

Znovu prichádzame k záveru, že v typickej predmestskej oblasti, v ktorej sa nachádzajú nedostatočne tepelne izolované domy, ako je ten môj, *nemôže každý používať tepelné čerpadlá*. Iba, ak by v letných mesiacoch každý aktívne dodával teplo späť do zeme. A v mestách s vyššou hustotou obyvateľstva sú tepelné čerpadlá využívajúce teplo zeme ešte ťažšie použiteľné.

Preto navrhujem tepelné čerpadlá využívajúce teplo vzduchu ako najlepšiu voľbu pre vykurovanie v prípade väčšiny ľudí [v domoch bez poriadnej tepelnej izolácie – pozn. prekl.].

### **Tepelná akumulačná hmota**

Pomáha zvýšenie tepelnej akumulačnej hmoty budovy znížiť účty za chladenie a vykurovanie? Záleží to od viacerých okolností. Vonkajšia teplota sa môže počas dňa meniť približne o 10 °C. Budovy s veľkou tepelnou akumulačnou hmotou – napríklad silné kamenné steny – budú prirodzene znižovať tieto zmeny teploty a bez vykurovania a chladenia bude teplota blízko priemernej vonkajšej teplote. Takéto budovy vo Veľkej Británii nepotrebujú vykurovať ani chladiť niekoľko mesiacov v roku. V kontraste s tým sa málo izolované budovy s nízkou tepelnou akumulačnou hmotou môžu cez deň príliš zohriať a cez noc príliš ochladiť. Preto vyžadujú vyššie náklady na chladenie a vykurovanie.

Veľká tepelná akumulačná hmota nie je vždy výhodná. Ak miestnosť obývame v zime len niekoľko hodín denne (napr. prednášková miestnosť), náklady na energiu potrebnú na zohriatie miestnosti na komfortnú teplotu budú tým vyššie, čím väčšia bude jej tepelná akumulačná hmota. Toto „navyš“ uložené teplo zostane v tepelne zotrvačnej miestnosti zachované dlhšie, ale ak v nej nikto nie je, nikto si to neužije a teplo sa nevyužije. V prípade málo obývaných miestností má zmysel budova s nízkou tepelnou akumulačnou hmotou s možnosťou zohriať ju, ak treba.

### **Poznámky a ďalšie čítanie**

Strana číslo

304 *Tabuľka E.18*. Zdroje: Bonan (2002),

<http://www.hukseflux.com/thermalScience/thermalConductivity.html>

Schéma E.19 Výpočet prirodzeného toku, ktorý spôsobujú sínusoidové zmeny teploty.

Ak predpokladáme, že zem je z homogénneho materiálu s vodivosťou  $\kappa$  a tepelnou kapacitou  $C_v$  potom teplota v hĺbke  $z$  pod povrchom zeme a v čase  $t$  zodpovedá predpísanej teplote na povrchu v súlade s rovnicou:

$$\frac{\partial T(z,t)}{\partial t} = \frac{\kappa}{C_v} \cdot \frac{\partial^2 T(z,t)}{\partial z^2} \quad (\text{E.4})$$

Pre sínusoidný priebeh teploty s frekvenciou  $\omega$  a amplitúdou  $A$  pri hĺbke  $z = 0$

$$T(0,t) = T_{\text{povrch}}(t) = T_{\text{priemer}} + A \cdot \cos(\omega \cdot t), \quad (\text{E.5})$$

výsledná teplota v hĺbke  $z$  a v čase  $t$  je utlmujúca a oscilujúca funkcia

$$T(z,t) = T_{\text{priemer}}(t) + A \cdot e^{-z/z_0} \cdot \cos(\omega \cdot t - z/z_0), \quad (\text{E.6})$$

kde  $z_0$  je charakteristická dĺžka útlmu a oscilácie

$$z_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{C_v \cdot \omega}}. \quad (\text{E.7})$$

Tepelný tok (výkon na jednotku plochy) v hĺbke  $z$  je

$$\kappa \frac{\partial T}{\partial z} = \kappa \frac{A}{z_0} \cdot \sqrt{2} \cdot e^{-z/z_0} \cdot \sin(\omega t - z/z_0 - \pi/4). \quad (\text{E.8})$$

Napríklad, na povrchu je maximálny tok

$$\kappa \frac{A}{z_0} \cdot \sqrt{2} = A \sqrt{C_v \cdot \kappa \cdot \omega}. \quad (\text{E.9})$$

## F Vlny II

### Fyzika vln vo veľkých hĺbkach

Vlny obsahujú energiu v dvoch formách: potenciálnej energii a kinetickej energii. Potenciálna energia je potrebná na presun všetkej vody z koryta na vrchol. Kinetická energia súvisí s pohybom vody.

Ľudia si niekedy myslia, že keď sa hrebeň vlny pohybuje oceánom rýchlosťou 30 míľ za hodinu, tak aj voda na hrebeni sa musí pohybovať tým istým smerom rýchlosťou 30 míľ za hodinu. Nie je to však tak. Je to ako „mexická vlna“. Keď sa vlny valia štadiónom, ľudia sa nepresúvajú, iba sa vyhupnú a trochu klesnú dole. Pohyb časti vody v oceáne je podobný. Ak sa zameriame na povrch chaluhy plávajúcej vo vode, ktorou idú vlny, videli by sme ako sa chaluhy pohybujú hore a dole a tiež trochu vopred a nazad v smere pohybu vody. Rovnaký efekt by sme videli v mexických vlnách ľudí, ktorí by kývali krúživým pohybom rukami, tak ako pri umývaní okien. Vlna má potenciálnu energiu, pretože má hrebene a korytá. Má aj kinetickú energiu, pretože v nej existuje malý krúživý pohyb.

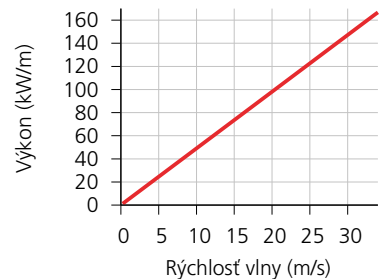
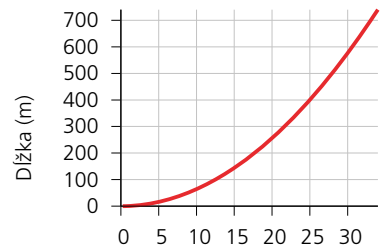
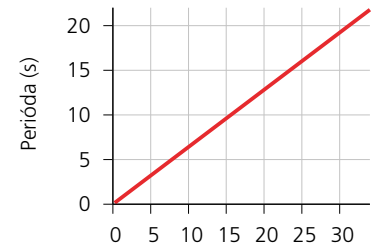
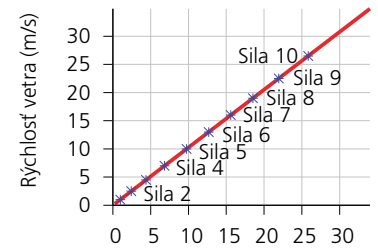
Náš hrubý výpočet výkonu vo vlnách oceánu si vyžaduje pridať tri faktory: určenie periódy vln  $T$  (čas medzi hrebeňmi), určenie výšky vln  $h$  a fyzikálnu rovnicu, ktorá nám hovorí, ako sa dá určiť rýchlosť vlny  $v$  z jej periódy.

Dĺžka vlny  $\lambda$  a perióda vln (vzdialenosť a čas medzi dvoma vrcholmi) závisí od rýchlosti vetra vytvárajúceho vlny, ako ukazuje obr. F.1. Výška vln nezávisí od rýchlosti vetra. Skôr od toho, ako dlho vietor pôsobí na vodnú hladinu.

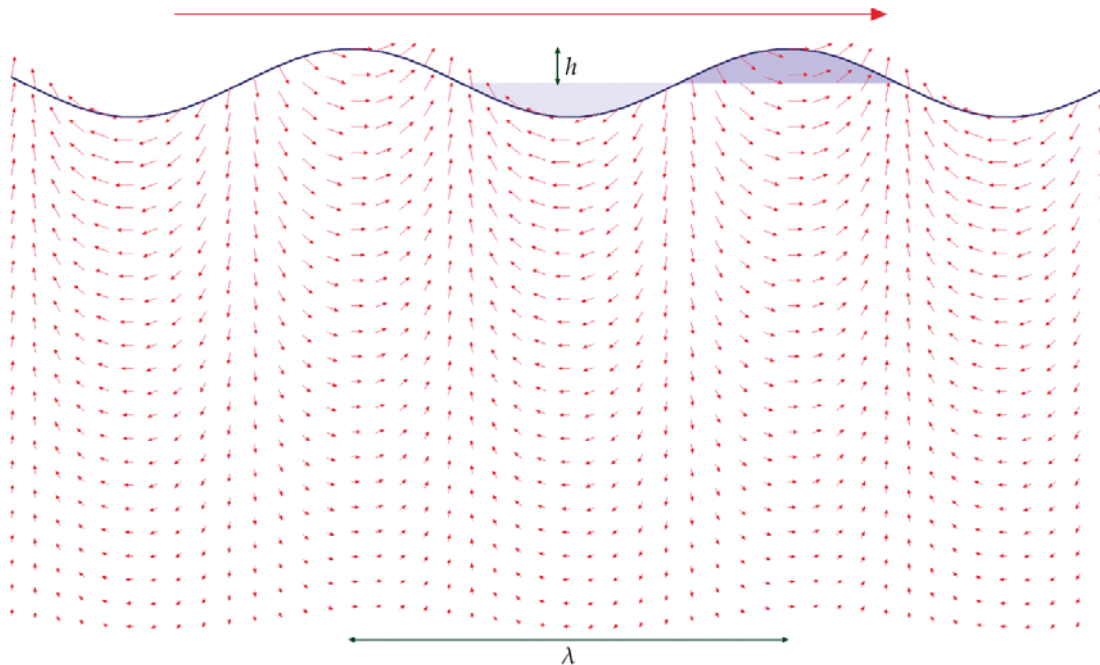
Môžeme odhadiť periódu oceánskych vln, ak určíme čas medzi vlnami prichádzajúcimi na pobrežie oceánu. Je 10 sekúnd reálnych? Predpokladajme výšku vlny 1 meter, čo znamená 2 metre medzi spodkom a hrebeňom. Ak je človek pri takýchto vlnách na ich spodku, nedovídi za najbližší hrebeň vlny. Myslím, že táto výška je nadpriemerná, ale neskôr tento odhad môžeme upraviť, ak to budeme považovať za potrebné. Rýchlosť pohybu vln v hlbokkej vode súvisí s časom  $T$  medzi hrebeňmi podľa nasledujúceho fyzikálneho vzorca (pozri Faber (1995), str. 170):

$$v = \frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi},$$

kde  $g$  je tiažové zrýchlenie ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ). Napr., ak  $T = 10$  sekúnd, potom  $v = 16 \text{ m/s}$ . Dĺžka takejto vlny – vzdialenosť medzi vrcholmi – je  $\lambda = vT = gT^2/2\pi = 160 \text{ m}$ .



Obrázok F.1 Fakty o vlnách hlbokých vôd. Na všetkých obrázkoch je na vodorovnej osi rýchlosť vlny v m/s. Popis od najvyššieho k spodnému grafu: rýchlosť vetra (m/s) potrebná na vytvorenie takejto rýchlosti vlny, perióda vlny (s), dĺžka vlny (m) a hustota výkonu vlny (kW/m) s amplitúdou 1 m.



Obrázok F.2 Vlna má energiu v dvoch formách, vo forme potenciálnej energie súvisiacej so zdvíhaním vody zo svetlomodrého koryta do tmavomodrého vrcholu a kinetickej energie celého množstva vody v rámci niekoľkých dĺžok vln na povrchu – rýchlosť vody naznačujú malé šípky. Rýchlosť vlny bežiacie zľava doprava naznačuje veľká šípka nad vodou.

Ak je rozdiel výšok medzi každým korytom a hrebeňom  $h = 1$  m, je potenciálna energia za jednotku času a dĺžky, v prípade vlny s dĺžkou  $\lambda$  a periódou  $T$ , ak je rozdiel výšok medzi každým korytom a hrebeňom  $h = 1$  m.

$$P_{potenc} \approx m^* \cdot g \cdot \bar{h} / T, \quad (F.1)$$

kde  $m^*$  je hmotnosť na jednotku dĺžky, ktorá je približne  $\frac{1}{2}\rho h(\lambda/2)$  (približná plocha sivého vrcholu na obrázku F.2 z plochy trojuholníka) a  $\bar{h}$  je zmena vo vzraste stredu hmoty vody, ktorá je približne  $h$ . Takže

$$P_{potenc} \approx \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot h \cdot \frac{\lambda}{2} \cdot g \cdot h / T. \quad (F.2)$$

(Na určenie potenciálnej energie by sme mali vo vzorci použiť integrál a malo by nám to poskytnúť ten istý výsledok.) Teraz  $\lambda/T$  je jednoducho rýchlosť  $v$ , pri ktorej sa vlny pohybujú, takže

$$P_{potenc} \approx \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot v. \quad (F.3)$$

Vlny majú okrem potenciálnej aj kineticú energiu. Obe energie sa rovnajú (výpočet kinetickej energie tu neuvádzam). Celková energia vln je tak dvojnásobok výkonu vypočítaného z potenciálnej energie.

$$P_{total} \approx \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot v. \quad (F.4)$$

V tejto odpovedi je len jedna vec nesprávna. Výsledok je príliš veľký, pretože sme nebrali do úvahy zvláštnu vlastnosť plynúcu z tzv. disperzie, závislosti rýchlosti vln na perióde. Energia vlny sa v skutočnosti nešíri tou istou rýchlosťou ako jej hrebeň, ale pohybuje sa rýchlosťou nazývanou grupová rýchlosť, ktorá sa v hlbokoj vode rovná polovici rýchlosti  $v$ . Ak hodíme kameň do vody v jazere a pozorne sledujeme šíriace sa vlny, názorne môžeme vidieť, že energia vln sa šíri pomalšie ako ich hrebene. Znamená to, že rovnica (F.4) je nesprávna. Potrebujeme ju podeliť dvoma. Správny výkon na jednotku dĺžky prednej strany vlny je

$$P_{total} = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot v. \quad (F.5)$$

Ak  $v = 16$  m/s a  $h = 1$  m, zistíme

$$P_{total} = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot v = 40 \text{ kW/m}. \quad (F.6)$$

Tento hrubý odhad súhlasí s reálnymi meraniami v Atlantiku (Mollison, 1986). (Pozri stranu 75.)

Straty v dôsledku viskozity sú minimálne. Vlna s periódou 9 sekúnd by mohla prejsť trikrát okolo sveta s 10% stratou svojej amplitúdy.

## Reálny systém pre elektrinu z vln

### Zariadenia hlbokých vôd

Aké účinné sú skutočné systémy využívajúce energiu vln? Existuje veľmi dobrý popis zariadenia s názvom „kačka“ od Stephena Saltera. Rad „kačiek“ s priemerom 16 metrov využívajúci atlantické vlny s priemerným výkonom 45 kW/m by mohol dodávať 19 kW/m, vrátane prenosu výkonu do stredného Škótska (Mollison, 1986).

Pelamis spoločnosti Ocean Power Delivery prekonal v praktickom nasadení Salterovu kačku a dnes je najlepším plávajúcim vlnovým zariadením v hlbokých vodách. Pelamis má tvar hada a je 130 m dlhý. Tvorí ho reťazec štyroch častí, pričom každá z nich má priemer 3,5 metra. Maximálny elektrický výkon predstavuje 750 kW. Je konštruovaný na hĺbku približne 50 m. Vlnová elektráreň s 39 zariadeniami usporiadanými v troch radoch by sa v oceáne rozprestierala na ploche 1 km<sup>2</sup>, bola by asi 400 m dlhá a 2,5 km široká. Efektívny prierez jedného zariadenia Pelamis je 7 m (t. j. zo 7 m dĺžky hrebeňa získa akoby 100 % energie). Spoločnosť tvrdí, že vlnová elektráreň by mohla dodávať energiu okolo 10 kW/m.

### Zariadenia plytkých vôd

Pri poklese hĺbky v oceáne zo 100 m na 15 m sa z vln stráca až 70% energie, ako dôsledok trenia o dno. Priemerná energia z vln na jednotku dĺžky obrysu pobrežia v plytkých vodách je preto nižšia; približne 12 kW/m. Zariadenie Oyster, ktoré vyvinuli Queen's University Belfast a spoločnosť Aquamarine Power Ltd, je klapka 12 m vysoká, upevnená na dne. Určená je do vôd s takouto hĺbkou v oblastiach, kde je priemerný typický výkon vlny vyšší ako 15 kW/m. Jej maximálny výkon je 600 kW. Jedno zariadenie by vo vlnách vyšších ako 3,5 m mohlo vyrábať približne 270 kW. Predpokladá sa, že na jednotku hmotnosti by jeho výkon mohol byť vyšší ako v prípade Pelamisu.

Zariadenia Oyster je možné použiť na priamy pohon odsolovacích zariadení (reverzná osmóza). „Maximálna produkcia sladkej vody kombináciou zariadení pre odsolovanie a Oyster je medzi 2 000 a 6 000 m<sup>3</sup>/deň.“ Takáto výroba, súdiac podľa odsolovacieho zariadenia v Jersey (ktoré potrebuje 8 kWh na m<sup>3</sup>), zodpovedá 600 - 2 000 kW elektriny.

## G Prílív a odliv II

### Koncentrácia výkonu prílivových nádrží

Na určenie výkonu nádrže si predstavme, že sa rýchlo naplní pri prílive a rýchlo vyprázdni pri odlive. Oba procesy vyrábajú výkon pri ústupe hladiny aj pri zaplavení (hovoríme o obojsmernej výrobe alebo výrobe s dvojitým efektom). Zmenu potenciálnej energie vody, vždy každých šesť hodín, možno vyjadriť vzorcom  $m \cdot g \cdot h$ , kde  $h$  je polovica celkového rozsahu zmeny výšky stredy hmoty vody (rozsah je rozdiel hladiny medzi prílivom a odlivom; obr. G.1). Hmotnosť nádrže na jednotku plochy je  $\rho \cdot (2 \cdot h)$ , kde  $\rho$  je hustota vody ( $1\,000 \text{ kg/m}^3$ ). Ak uvažujeme s generátorom s maximálnou teoretickou účinnosťou, výkon na jednotku plochy prílivovej akumulácie elektrárne je

$$\frac{2 \cdot \rho \cdot h \cdot g \cdot h}{6 \text{ hodín}}$$

Ak  $h = 2 \text{ m}$  (t. j. rozsah  $4 \text{ m}$ ), príkon prílivovej akumulácie elektrárne na jednotku plochy je  $3,6 \text{ W/m}^2$ . Pri premene tohto príkonu na elektrinu s účinnosťou  $90 \%$  dostaneme

výkon nádrže na jednotku plochy  $\approx 3 \text{ W/m}^2$ .

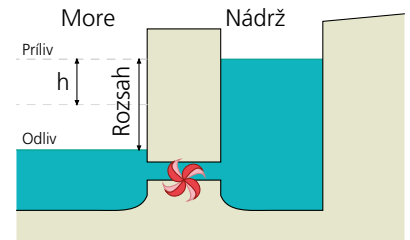
Aby sme vyrobili  $1 \text{ GW}$  výkonu (priemerne), potrebujeme nádrž s plochou približne  $300 \text{ km}^2$ . Mohla by to zvládnuť kruhová nádrž s priemerom  $20 \text{ km}$ . (Na porovnanie plocha ústia rieky Severn za navrhovanou priehradou je približne  $550 \text{ km}^2$  a plocha ústia rieky Wash je viac ako  $400 \text{ km}^2$ ).

Ak prílivová elektrárňa vyrába elektrinu iba jedným smerom, výkon na jednotku plochy je polovičný. Priemerný výkon na plochu prílivovej priehrady v La Rance, kde je stredný rozsah zmeny hladín  $10,9 \text{ m}$ , je už desaťročia  $2,7 \text{ W/m}^2$  (str. 87).

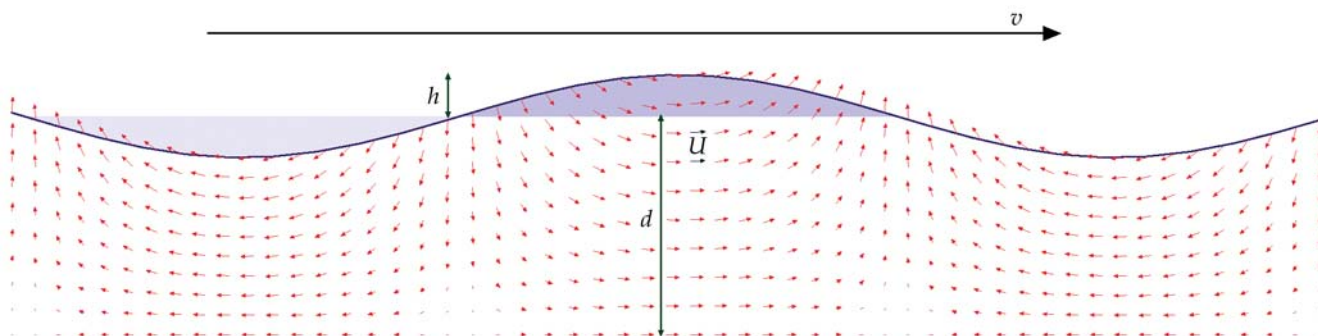
### Hrubá veľkosť zdrojov prílivu a odlivu

Prílivy a odlivy vo Veľkej Británii vytvárajú skutočné slapové vlny. (Cunami, ktoré sa nazývajú „prílivové vlny“, nemajú s prílivmi a odlivmi nič spoločné. Spôsobujú ich zosuvy pôdy pod morom alebo zemetrasenia.) Miesto vysokého prílivu (hrebeň prílivovej vlny) sa pohybuje omnoho rýchlejšie ako samotný príliv – povedzme sto míľ za hodinu, pričom voda sa pohybuje iba rýchlosťou 1 míľu za hodinu.

Energia, ktorú môžeme získať z vln použitím prílivových nádrží alebo elektrární, nemôže nikdy presiahnuť energiu prílivových vln z Atlantiku. Celkový výkon týchto veľkých prílivových vln môžeme odhadnúť rovnako, ako sme určovali výkon bežných vln, ktoré vytvára vietor. Ďalšia časť opisuje štandardný model pre príkon, ktorý nesú prílivové vlny cestujúce nad hĺbkou  $d$ , ktorá je malá oproti vlnovej dĺžke vln (obr. G.2).



Obrázok G.1 Prierez prílivovej akumulácie elektrárne. Teraz je odliv. Pri prílive sa nádrž naplnila. Voda sa nechá vytekať cez generátor elektriny a premieňa potenciálnu energiu vody na elektrinu.



Obrázok G.2 Prílivová vlna v plytkých vodách. Tak ako vlny od vetra v hlbokej vode, aj táto oveľa dlhšia vlna má energiu v dvoch formách: potenciálnu energiu súvisiacu s výzdvihom vody mimo svetlosivého koryta do tmavosivých hrebeňov a kinetickú energiu pohybujúcej sa vody znázornenej malými šípkami. Rýchlosť vlny pohybujúcej sa zľava doprava je znázornená omnoho dlhšou šípkou na vrchu. Pre prílivové vlny môže byť typická hĺbka 100 m, rýchlosť hrebeňov 30 m/s, vertikálna amplitúda na povrchu 1 alebo 2 m a amplitúda rýchlosti pohybu vody 0,3 alebo 0,6 m/s.

$h$ (m)	$\rho g^{3/2} \cdot \sqrt{d} \cdot h^2 / 2$ (kW/m)
0,9	125
1,0	155
1,2	220
1,5	345
1,75	470
2,0	600
2,25	780

Tabuľka G.3 Príkon (na jednotkovú dĺžku hrebeňov vlny) v hĺbke  $d = 100$  m.

Príkon na jednotkovú dĺžku hrebeňa týchto vln v plytkých vodách je

$$\rho \cdot g^{3/2} \cdot \sqrt{d} \cdot h^2 / 2. \quad (G.1)$$

Tabuľka G.3 ukazuje príkon na jednotku dĺžky vrcholu vlny pre vybrané rozumné hodnoty. Ak  $d = 100$  m a  $h = 1$  alebo 2 m, výkon na jednotku dĺžky hrebeňa vlny je 150 kW/m, respektíve 600 kW/m. Tieto čísla sú pôsobivé v porovnaní s príkonom na jednotku dĺžky hrebeňa bežných vln v Atlantiku, 40 kW/m (kapitola F). Vlny a slapy v Atlantiku majú podobné vertikálne amplitúdy (okolo 1 m), ale hrubý príkon slapov je približne 10-násobne vyšší ako ten z vln poháňaných vetrom.

Taylor (1920) vypracoval podrobný model príkonu prílivu a odlivu, ktorý zahŕňa dôležité detaily, ako napr. Coriolisov efekt (spôsobený rotáciou Zeme), existenciu slapových vln postupujúcich v protismere a priamy vplyv Mesiaca na tok energie v Írskom mori. Odtedy experimentálne merania a počítačové modely potvrdili a ďalej rozšírili pôvodnú Taylorovu analýzu. Flather (1976) zostavil detailný numerický model mesačného prílivu a odlivu tak, že rozdelil pobrežie okolo Britských ostrovov na zhruba tisíc štvorcových častí. Určil, že celkový priemerný príkon do regiónu je 215 GW. Podľa tohto modelu spadá 180 GW do oblasti medzi Francúzskom a Írskom. Od severného Írska po Shetlandy je príkon 49 GW. Medzi Shetlandami a Nórskom je to 5 GW. Cartwright a kol. (1980) experimentálne zistil, že priemerný príkon bol 60 GW medzi mestami Malin Head (Írsko) a Florø (Nórsko), a 190 GW medzi ostrovom Valentia (pri pobreží Írska) a bretónskym pobrežím blízko Ouessant (obr. G.4). Príkon vstupujúci do Írskeho mora bol určený na 45 GW a do Severného mora cez Doverskú nížinu na 16,7 GW.

#### Príkon vln prílivu a odlivu

Táto časť, ktorú by ste mohli pokojne preskočiť, poskytuje ďalšie podrobnosti skryté za vzorcom na výpočet príkonu slapov, ktorý sme použili v predchádzajúcej časti. Podrobnejšie opíšem tento model, pretože veľa oficiálnych britských odhadov o slapových zdrojoch sa zakladá na modeli, ktorý je podľa mňa nesprávny.



Obrázok G.2 ukazuje model prúdenia slapových vln, cestujúcich pomerne plytkou vodou. Tento model zobrazuje napríklad slapové vlny idúce kanálom La Manche alebo na juh Severným morom. Je dôležité odlíšiť rýchlosť  $U$ , ktorou sa voda sama pohybuje (to môže byť približne 1 míľa za hodinu), od rýchlosti  $v$ , ktorou sa pohybuje vrchol prílivu, a ktorá obyčajne dosahuje 100 alebo 200 míľ za hodinu.

Voda má hĺbku  $d$ . Hrebene vln prichádzajú z ľavej strany od oceánu, každých 12 hodín. Pohybujú sa rýchlosťou

$$v = \sqrt{g \cdot d}. \quad (\text{G.2})$$

Predpokladáme, že dĺžka vlny je omnoho väčšia ako hĺbka a zanedbávame detaily ako je Coriolisova sila a zmeny hustoty vody. Označme si vertikálnu amplitúdu  $h$ . Štandardný predpoklad toku s nulovou intenzitou vírivosti predpokladá, že horizontálna rýchlosť vody sa s hĺbkou takmer nemení. Horizontálna rýchlosť  $U$  je priamo úmerná povrchovému posunu a možno ju určiť pomocou zákona zachovania hmotnosti:

$$U = v \cdot h/d. \quad (\text{G.3})$$

So znižovaním hĺbky sa zároveň znižuje aj rýchlosť vlny  $v$  (rovnica (G.2)). Pre zjednodušenie budeme predpokladať, že hĺbka sa nemení. Energia tečie zľava doprava nejakým tempom. Ako možno vypočítať tento príkon prílivu? A aký je maximálny výkon, ktorý môžeme získať?

Jednou z možností je zvoliť si prierez a vypočítať priemerný tok *kinetickej energie* týmto prierezom a potom tvrdiť, že toto množstvo reprezentuje získateľný výkon. Túto metódu toku kinetickej energie použili konzultanti Black a Veatch na určenie zdrojov prílivovej energie vo Veľkej Británii. V našom modeli môžeme vypočítať celkový výkon inými spôsobmi. Uvidíme, že výsledok odhadu metódou toku kinetickej energie je príliš nízky, a to o veľa.

Maximálny tok kinetickej energie pri danom profile je

$$K_{BV} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U^3, \quad (\text{G.4})$$

kde  $A$  je plocha prierezu (toto je vzorec na výpočet toku kinetickej energie, s ktorým sme sa stretli v kapitole B).

Skutočný celkový príkon sa nerovná toku kinetickej energie. Skutočný príkon slapovej vlny v plytkej vode je štandardným učebnicovým výpočtom; jeden zo spôsobov, ako ho získať, je určiť celkovú energiu prítomnú v jednej dĺžke vlny a podeliť ju periódou. Celková energia na dĺžku vlny je súčtom potenciálnej a kinetickej energie. Kinetická energia je zhodou okolností rovnaká ako potenciálna energia (je to charakteristická vlastnosť takmer všetkých kmitajúcich objektov, napr. aj detí na hojdačke). Aby sme vypočítali celkovú energiu, stačí nám vypočítať jednu z dvoch energií – potenciálnu alebo kinetickú – a potom ju vynásobiť dvoma. Takže, urobme tento výpočet s potenciálnou energiou.



Obrázok G.4 Namerané priemerné príkony prílivov podľa Cartwrighta a kol. (1980).

Potenciálna energia vlny (na dĺžku vlny  $\lambda$  a na jednotku šírky čela vlny) sa dá určiť takto:

$$\frac{1}{4} \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot \lambda. \quad (\text{G.5})$$

Zdvojnásobením a podelením periódou je skutočný príkon prinášajú úsekom slapovej vlny v plytkej vode nasledovný:

$$\text{príkon} = \frac{1}{2} (\rho \cdot g \cdot h^2 \cdot \lambda) \cdot \omega / T = \frac{1}{2} \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot v \cdot \omega, \quad (\text{G.6})$$

kde  $\omega$  je šírka úseku čela vlny. Nahradením  $v = \sqrt{g \cdot d}$

$$\text{príkon} = \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot \sqrt{g \cdot d} \cdot \omega / 2 = \rho \cdot g^{3/2} \cdot \sqrt{d} \cdot h^2 \cdot \omega / 2. \quad (\text{G.7})$$

Porovnajme tento príkon s tokom kinetickej energie  $K_{BV}$ . Tieto dva výrazy sa prekvapivo zväčšujú rozdielne s amplitúdou  $h$ . Použitím vzťahu (G.3), (G.2) a  $A = \omega \cdot d$ , môžeme vyjadriť tok kinetickej energie ako

$$K_{BV} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot U^3 = \frac{1}{2} \rho \cdot \omega \cdot d \cdot (v \cdot h/d)^3 = \rho \cdot \left( g^{3/2} / \sqrt{d} \right) \cdot h^3 \cdot \omega / 2. \quad (\text{G.8})$$

Metóda toku kinetickej energie naznačuje, že celkový príkon od vlny závisí od tretej mocniny jej amplitúdy (rovnica (G.8)). Ale správny vzorec hovorí, že výkon závisí od druhej mocniny amplitúdy (rovnica (G.7)).

Pomer je

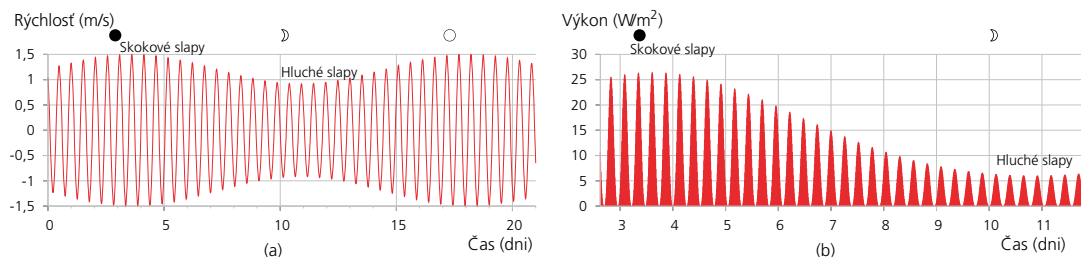
$$\frac{K_{BV}}{\text{príkon}} = \frac{\rho \cdot \omega \cdot \left( g^{3/2} / \sqrt{d} \right) \cdot h^3}{\rho \cdot g^{3/2} \cdot h^2 \cdot \sqrt{d} \cdot \omega} = \frac{h}{d} \quad (\text{G.9})$$

Pretože  $h$  je obyčajne omnoho menšie ako  $d$  ( $h$  je okolo 1 alebo 2 m, pričom  $d$  je 100 m alebo 10 m), odhady zdrojov od príkonu dmütia mora, ktoré sú založené na metóde toku kinetickej energie, môžu byť naozaj *príliš malé*. Prinajmenšom v prípadoch, kde je tento model slapových vln v plytkej vode vhodný.

Okrem toho, odhady založené na metóde toku kinetickej energie nesprávne tvrdia, že celkový dostupný príkon skokových slapov (najväčšie prílivy a odlivy) je osemnásobne vyšší ako pri hluchých slapoch (malé prílivy a odlivy) predpokladajúc, že pomer amplitúd skokových slapov k hluchým sa rovná dvom. Správna odpoveď však je, že celkový príkon prílivových vln sa mení s druhou mocninou amplitúdy, takže pomer amplitúd skokových slapov k hluchým z celkového výkonu je 4:1.

#### *Vplyv sklonu morského dna a Coriolisova sila*

Ak sa hĺbka  $d$  postupne znižuje a šírka vlny zostáva konštantná (odraz alebo absorpcia príkonu sú minimálne), potom je príkon z vln zostáva konštantný.



To znamená, že  $\sqrt{d} \cdot h^2$  je konštanta. Preto je možné odvodiť, že výška vlny sa mení s hĺbkou podľa  $h \approx 1/d^{1/4}$ .

Toto je hrubý model. Jeden detail, o ktorom sme neuvažovali, je Coriolisova sila. Tá spôsobuje, že prílivy sa vychýľujú doprava – napr. ako putujú smerom na sever po kanále La Manche, vysoké prílivy sú vyššie a nízke prílivy sú nižšie na južnej, francúzskej strane kanála. Zanedbaním tohto vplyvu sú naše výpočty o niečo menej presné.

### Hustota výkonu prílivových prietokových elektrární

Predstavme si veterné mlyny na morskom dne. Tieto mlyny bude poháňať tok vody. Pretože hustota vody je približne tisícásobne väčšia ako hustota vzduchu, príkon od vody tečúcej cez mlyny je tiež tisícásobne väčší ako príkon od vetra pri tej istej rýchlosti.

Aký výkon by mohli dodať prílivové prietokové elektrárne? Rozhodujúce je, či môžeme alebo nemôžeme sčítať výkony jednotlivých prílivových elektrární na *jednotlivých* častiach morského dna. V prípade veterných parkov sa zdá, že predpoklad sčítavania funguje dobre. Keď veterné turbíny umiestnime v dostatočnej vzdialenosti od seba, celkový výkon desiatich susedných parkov je súčtom výkonov, ktorý by dodával každý z nich, ak by stál samostatne.

Platí to isté aj pre elektrárne pod hladinou vody? Alebo podmorské vodné mlyny nejako ovplyvňujú výkon tých ostatných? Nemyslím si, že odpoveď na túto otázku je všeobecne známa. Môžeme vychádzať z dvoch rôznych predpokladov a identifikovať modelové situácie, v ktorých vyzerajú oba predpoklady správne. Prvý predpoklad, „slapy sú ako vietor“, hovorí, že turbíny môžeme umiestniť na morské dno vo vzdialenostiach zodpovedajúcich pätnásobku ich priemeru a nebudú sa navzájom ovplyvňovať bez ohľadu na to, akú plochu morského dna takýmito elektrárnami obsadíme.

Druhý predpoklad, „môžeme mať iba jeden rad.“ Naopak, tvrdí, že maximálny výkon, ktorý je možné získať z danej oblasti, by mohol dodávať *jeden rad* turbín stojacich proti prúdu. Situácia, pri ktorej platí takýto predpoklad, je prípad obyčajnej vodnej elektrárne. Ak voda z priehrady preteká cez jednu dobre navrhnutú turbínu, nemá význam inštalovať za ňou ďalšie turbíny.

Obrázok G.5 (a) Slapové prúdy počas 21-dňového obdobia na mieste, kde je maximálny prúd pri silných prílivoch 1,5 m/s a pri slabých prílivoch je 0,9 m/s. (b) Výkon sústavy turbín na jednotku plochy morského dna počas 9-dňového obdobia rozložený od skokových po hluché prílivy. Príkon dosiahne maximum štyrikrát denne, najväčšia hodnota je 27 W/m<sup>2</sup>. Priemerný výkon prílivovej elektrárne je 6,4 W/m<sup>2</sup>.

$U$ (m/s)	$U$ (uzly)	Výkon prílivovej prietokovej elektrárne (W/m <sup>2</sup> )
0,5	1	1
1	2	8
2	4	60
3	6	200
4	8	500
5	10	1 000

Tabuľka G.6 Výkon prílivovej prietokovej elektrárne (vo wattoch na meter štvorcový morského dna) ako funkcia rýchlosti toku  $U$ . (1 uzol = 1 námornícka míľa za hodinu = 0,514 m/s.) Výkon na plochu je počítaný ako  $(\pi/200) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U^3$  (rovnica (G.10)).

Nie je možné získať stonásobne viac výkonu inštalovaním ďalších 99 turbín v smere toku vody za prvou turbínou. Príkion získa iba prvá turbína a pre ďalšie elektrárne ho už viac nezostáva. Takže predpoklad: „môžeme mať iba jeden rad“ je správny v prípade odhadu využiteľného príkonu na miestach, kde voda preteká úzkym kanálom z takmer stojacej vody vo vyššej výške, do nádrže v nižšej nadmorskej výške. Tento prípad rozoberajú Garrett a Cummins (2005, 2007).

Teraz vyjdem s farbou von. Myslím si, že na veľa miestach v okolí Veľkej Británie je predpoklad „slapy sú ako vietor“ vhodný. Možno to neplatí v prípade miest, ktoré majú charakter úzkych kanálov. Na týchto miestach môžu byť moje výpočty nadhodnotené.

Predpokladajme, že pravidlá pre prílivové prietokové elektrárne sú rovnaké ako pre veterné parky, a že ich účinnosť je rovnaká ako účinnosť najlepších veterných parkov, okolo 50%. Potom môžeme prevziať vzorec na výpočet výkonu veterného parku (na jednotku plochy pôdy) zo strany 265. Výkon na jednotku plochy morského dna je

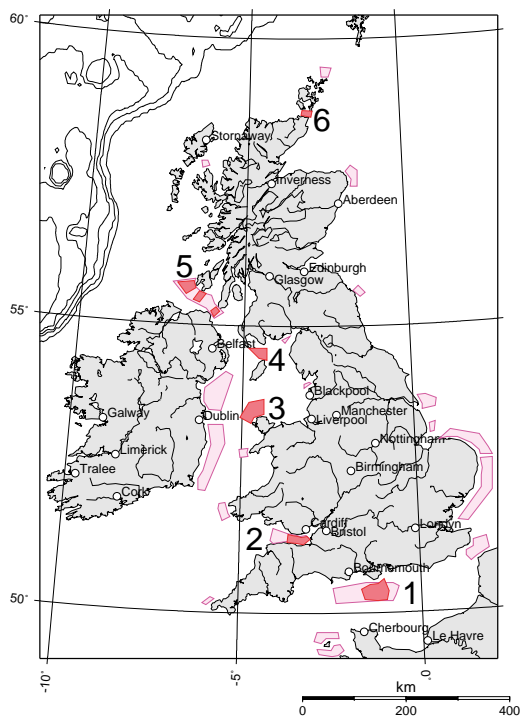
$$\frac{\text{výkon podmorskej turbíny}}{\text{plocha dna na jednu turbínu}} = \frac{\pi}{200} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U^3 \quad (\text{G.10})$$

Tabuľka G.6 ukazuje tento výkon vlnovej elektrárne pre niekoľko rýchlostí prúdenia, ktoré by sme získali použitím tohto vzorca.

Ale aké sú typické slapové prúdy? Mapy prílivu a odlivu obyčajne uvádzajú prúdy súvisiace s najväčším rozsahom slapov (nazývané skokové slapy) a s najmenším rozsahom (nazývané hluché slapy). Skokové slapy sa vyskytujú krátko po každom splne a nove Mesiaca. Hluché slapy sa vyskytujú krátko po prvej a tretej štvrti Mesiaca. Výkon prílivovej elektrárne by sa menil počas dňa celkom predvídateľne. Obrázok G.5 ukazuje zmenu koncentrácie výkonu prílivovej prietokovej elektrárne v oblasti, kde je maximálna rýchlosť prúdenia 1,5 m/s. Priemerný výkon na plochu prílivovej elektrárne môže byť 6,4 W/m<sup>2</sup>. Okolo Britských ostrovov existuje veľa miest, kde by výkon na jednotku plochy prílivových elektrární mohol byť 6 W/m<sup>2</sup> alebo viac. Táto hodnota je podobná našim odhadom výkonov veterných parkov (2 - 3 W/m<sup>2</sup>) a fotovoltických elektrární (5 - 10 W/m<sup>2</sup>).

Teraz použijeme teóriu „prílivové elektrárne sú ako veterné parky“ na odhadnutie dostupného výkonu zo slapových prúdov na vhodných lokalitách okolo Britských ostrovov. Pre kontrolu tiež určíme celkový príkon slapov v každej z týchto lokalít s využitím našej teórie. Zistíme tak, či náš odhadnutý výkon nie je väčší ako celkový príkon. Hlavné lokality okolo Britských ostrovov, kde sú slapové prúdy najsilnejšie, ukazuje obrázok G.7.

Odhadol som typické maximálne prúdy v šiestich lokalitách s najväčšími prúdmi použitím tabuľky prílivov a odlivov v *Reedovej námornej ročenke* (moje odhady by mohli mať chybu až 30%). Nadhodnotil alebo podhodnotil som veľkosť každej lokality? Neskúmal som morské dno, takže neviem, či niektoré miesta nie sú nevhodné – príliš hlboké, príliš plytké alebo príliš zložené na výstavbu.



Obrázok G.7 Oblasti okolo Britských ostrovov, kde špičkové slapové prúdy prekračujú 1 m/s. Šesť tmavo zvýraznených oblastí je uvedených v tabuľke G.8:

1. Kanál La Manche (južne od ostrova Wight)
2. Bristolský kanál
3. Sever Anglesey
4. Sever ostrova Man
5. Medzi Severným Írskom, the Mull of Kintyre a Islay
6. The Pentland Firth (medzi Orknejami a pevninou Škótska) a v rámci Orknejí.

Existujú aj rozsiahle prúdy okolo Channel Islands, ale tie nespádajú do Veľkej Británie. Lokality, ktoré sa umiestnili na druhom mieste, zahŕňajú Severné more z rieky Temža (Londýn) k rieke Wash (Kings Lynn). Kontúry ukazujú hĺbku viac ako 100 m. Údaje o slapoch sú z Reedovej námornej ročenky a DTI Atlasu britských zdrojov morskej obnoviteľnej energie (2004).

S vedomím všetkých týchto neistôt som dospel k odhadu celkového výkonu 9 kWh/d na osobu z prílivových prietokových elektrární. To zodpovedá 9% hrubého vstupného výkonu spomínaného na strane 83, teda 100 kWh za deň na osobu. (Využívanie 1,1 kWh/d/o v Bristolskom kanáli, lokalite 2, by mohlo konkurovať výkonu z priehrady Severn. Záležalo by na tom, či prílivové elektrárne významne zvyšujú už existujúce prirodzené trenie, ktoré kanál vytvára alebo ho nahrádzajú.)

Lokalita	U (uzly)		Výkon na plochu (W/m <sup>2</sup> )	Plocha (km <sup>2</sup> )	Priemerný výkon (kWh/d/o)	Slapový príkon			
	N	S				d (m)	ω (km)	N (kWh/d/o)	S (kWh/d/o)
1	1,7	3,1	7	400	1,1	30	30	2,3	7,8
2	1,8	3,2	8	350	1,1	30	17	1,5	4,7
3	1,3	2,3	2,9	1 000	1,2	50	30	3	9,3
4	1,7	3,4	9	400	1,4	30	20	1,5	6,3
5	1,7	3,1	7	300	0,8	40	10	1,2	4,0
6	5,0	9,0	170	50	3,5	70	10	24	78
Spolu					9				

(a)

(b)

Tabuľka G.8 (a) Výpočty výkonu za predpokladu, že prílivové prietokové elektrárne sú ako veterné parky. Výkon na plochu je priemerný výkon vzťahnutý na jednotku plochy morského dna. Šesť regiónov je uvedených v obrázku G.7. N = hlučné slapy, S = skokové slapy. (b) Pre porovnanie táto tabuľka ukazuje slapový príkon vypočítaný za pomoci rovnice (G.1, str. 312).

Tabuľka G.9 Koncentrácia výkonu trenia (vo wattoch na štvorcový meter morského dna) ako funkcia rýchlosti prúdu,

$$R_1 \cdot \rho \cdot U^3$$

za predpokladu, že  $R_1 = 0,01$  alebo  $0,003$ . Flather (1976) používa  $R_1 = 0,0025 - 0,003$ ; Taylor (1920) používa  $0,002$ . (1 uzol = 1 námorná míľa za hodinu =  $0,514$  m/s) Posledný stĺpec ukazuje koncentráciu výkonu prílivovej elektrárne v tabuľke G.6. Pre ďalšie čítanie pozri Kowalik (2004), Sleath (1984).

$v$ (m/s)	$v$ (uzly)	Koncentrácia výkonu trenia ( $W/m^2$ ) $R_1 = 0,01$ $R_1 = 0,003$		Koncentrácia výkonu prílivovej elektrárne ( $W/m^2$ )
0,5	1	1,25	0,4	1
1	2	10	3	8
2	4	80	24	60
3	6	270	80	200
4	8	640	190	500
5	10	1 250	375	1 000

### Odhad slapových zdrojov podľa trenia o dno

Iným spôsobom určenia výkonu dostupného zo slapov je vypočítať stratu príkonu trením o morské dno. Turbíny umiestnené tesne nad dnom by mohli pôsobiť ako náhrada dna a pôsobili by približne rovnakým ťahom na prechádzajúcu vodu ako morské dno. Vyrábali by približne taký istý výkon, ako je časť príkonu, ktorý sa aj tak spotrebuje na trenie o dno, bez významnejšej zmeny slapového prúdenia.

Aký príkon sa stráca pôsobením „trenia o dno“? Nanešťastie, neexistuje jednoduchý model vplyvu takéhoto trenia. Závisí od nerovností morského dna a od materiálu, z ktorého je morské dno zložené. Aj v prípade, ak máme tieto informácie, nie je jasné, aký vzorec je najlepšie použiť. Jeden často používaný model hovorí, že veľkosť strihu (sila na jednotku plochy) je  $R_1 \cdot \rho \cdot U^2$ , kde  $U$  je priemerná rýchlosť prúdenia a  $R_1$  je bezrozmerná veličina nazývaná koeficient šmykového trenia. Môžeme určiť stratený príkon na jednotku plochy vynásobením strihu s rýchlosťou. Tabuľka G.9 zobrazuje príkon stratený trením,  $R_1 \cdot \rho \cdot U^3$ , za predpokladu, že  $R_1 = 0,01$  alebo  $R_1 = 0,003$ . Pre hodnoty koeficientu šmykového trenia v tomto rozsahu sú straty príkonu trením veľmi podobné vypočítanému výkonu, ktorý by mohla prílivová elektrárňa dodávať. To je dobrá správa, pretože to znamená, že ak umiestnime veľké množstvo vodných turbín na morské dno, vo vzdialenostiach zodpovedajúcich päťnásobku priemeru turbíny, nebudú radikálne ovplyvňovať prúdenie. Zhruba rovnaký je aj vplyv prírodného trenia.

### Prílivové bazény s prečerpávaním

„Prečerpávací trik“ umelo zvyšuje amplitúdu prílivov a odlivov v prílivovom bazéne tak, aby sa vyrábalo vyšší výkon. Spotreba energie na načerpanie vody do bazénu pri prílive sa nám vráti aj s úrokmi, keď tú istú vodu necháme pri odlive vytečť. Podobne vodu navyše možno vyčerpať z bazénu pri odlive, a nechať ju natiecť pri prílive. Tento prečerpávajúci trik sa niekedy využíva v La Rance a zvyšuje tak jeho priemerný výkon o približne 10 % (Wilson a Balls, 1990). Určíme teoretické limity tejto technológie. Budem predpokladať, že výroba elektriny má účinnosť  $\varepsilon_g = 0,9$ , a že prečerpávanie má účinnosť  $\varepsilon_p = 0,85$ .

Tabuľka G.10 Teoretická koncentrácia výkonu prílivu použitím tzv. prečerpávacieho triku, ktorý nepočíta s obmedzením výšky stien nádrže.

Amplitúda slapov (polovičný rozsah) $h$ (m)	Optimálna ďalšia zmena hladiny $b$ (m)	Výkon s čerpaním (W/m <sup>2</sup> )	Výkon bez čerpania (W/m <sup>2</sup> )
1,0	6,5	3,5	0,8
2,0	13	14	3,3
3,0	20	31	7,4
4,0	26	56	13

(Tieto čísla vychádzajú zo zariadenia v Dinorwigu.) Nech je slapový rozsah  $2h$ . Pre jednoduchosť budem predpokladať, že ceny na nákup a predaj elektriny sú stále a rovnaké, takže optimálna výška  $b$ , do ktorej sa bazén napumpuje nad výšku prílivu, je daná rovnicou (prídavná elektrina na čerpanie = prírastok elektriny z načerpanej vody):

$$b/\varepsilon_p = \varepsilon_g \cdot (b + 2h).$$

Definovaním celkovej účinnosti  $\varepsilon = \varepsilon_g \cdot \varepsilon_p$  dostaneme

$$b = 2h \cdot \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}.$$

Napríklad pri slapovom rozsahu  $2h = 4$  m a celkovej účinnosti  $\varepsilon = 76\%$ , optimálne zvýšenie hladiny pri prílive je  $b = 13$  m. To je maximálna výška, o ktorú je možné zvýšiť hladinu, keď sa cena elektriny nemení.

Predpokladajme, že rovnaký trik použijeme aj pri odlive. (To si vyžaduje nádrž s vertikálnym rozsahom 30 m!) Výkon na jednotku plochy potom je

$$\frac{\left( \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot \varepsilon_g \cdot (b + 2h)^2 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{1}{\varepsilon_p} \cdot b^2 \right)}{T},$$

kde  $T$  je čas medzi prílivom a odlivom. Môžeme to vyjadriť ako maximálnu možnú hustotu výkonu bez prečerpávania,  $\varepsilon_g \cdot 2 \cdot \rho \cdot g \cdot h^2/T$  vynásobené faktorom zosilnenia

$$\left( \frac{1}{1 - \varepsilon} \right),$$

ktorý sa približne rovná 4. Tabuľka G.10 zobrazuje teoretickú koncentráciu výkonu, ktorú môže prečerpávanie poskytnúť. Nanešťastie, prečerpávací trik sa bude naplno využívať iba zriedka pre ekonomiku konštrukcie nádrže. Úplné využitie čerpania si vyžaduje, aby bola celková výška bazénu zhruba štvornásobkom rozsahu slapov. Potom poskytne 4-násobné zvýšenie výkonu. Ale množstvo materiálu v hrádzi s výškou  $H$  narastá ako  $H^2$ , takže náklady na výstavbu steny so štvornásobnou výškou by boli viac ako štvornásobne vyššie. Tieto náklady by bolo pravdepodobne lepšie vynaložiť na zväčšenie bazénu horizontálne, nie vertikálne.

Tabuľka G.11 Koncentrácia výkonu za pomoci prečerpávacieho triku predpokladá, že zosilnená výška je taká istá ako rozsah prílivu a odlivu. Tento predpoklad platí napríklad pri hluchých prílivoch, ak prečerpávanie zvyšuje rozsah prílivu na hodnoty rozsahu skokových prílivov.

Amplitúda prílivu (polovičný rozsah) $h$ (m)	Optimálna ďalšia zmena hladiny $b$ (m)	Výkon s čerpaním (W/m <sup>2</sup> )	Výkon bez čerpania (W/m <sup>2</sup> )
1,0	1,0	1,6	0,8
2,0	2,0	6,3	3,3
3,0	3,0	14	7,4
4,0	4,0	25	13

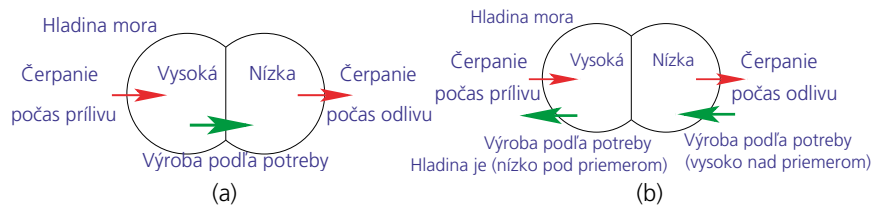
Napriek tomu je možné použiť prečerpávací trik v ktorýkoľvek deň, keď je rozsah prirodzených prílivov a odlivov menší ako ich maximálny rozsah. Hladinu vody počas prílivu možno prečerpávať na maximum. Tabuľka G.11 nám poskytuje dodávaný výkon, ak je optimálne zvýšenie hladiny tiež  $h$ , t. j. rozsah hladín v bazéne je dvojnásobný oproti prirodzenému rozsahu. Zdvojnásobenie vertikálneho rozsahu sa dá dosiahnuť jednoducho pri hluchých slapoch, pretože tie sú obyčajne polovičné v porovnaní so skokovými. Pri hluchých prílivoch sa voda prečerpáva do bazénu s využitím jeho plného objemu (na rozdiel od skokových prílivov). Dodáva sa tak približne dvakrát väčší výkon, než aký by sme získali bez prečerpávania. Tento systém by znamenal, že zmeny vo výkone v cykle s periódou pol mesiaca by neboli štvornásobné, ale iba polovičné.

#### „Nepretržitá“ elektrina prílivu s použitím dvoch nádrží

Tu je elegantná myšlienka. Máme dve nádrže, plnú a prázdnu. Pri prílive sa jedna nádrž naplní a pri odlive sa druhá nádrž vyprázdni. Naplňovanie a vyprázdňovanie sa môže uskutočňovať buď pasívne cez priepuste, alebo aktívne použitím čerpadiel (použitím prečerpávacieho triku). Vždy, keď je potrebné dodať výkon, umožní sa vode tiecť z plnej nádrže do prázdnej, alebo (lepšie z pohľadu výkonu) medzi jednou z nádrží a morom. Investičné náklady modelu s dvomi nádržami môžu byť vyššie, pretože si vyžaduje prídavné steny. Veľkou výhodou však je, že výkon je dostupný vždy, takže zariadenie ho môže zabezpečiť podľa potreby.

Výkon, ktorý vyrába prázdna nádrž, môžeme použiť na čerpanie vody do plnej nádrže pri prílive. Podobne môžeme použiť výkon z plnej nádrže na čerpanie vody z prázdnej nádrže pri odlive. Toto samočerpanie môže zvýšiť celkový výkon zariadenia bez akejkoľvek potreby odoberať elektrinu zo siete. Elegantná vlastnosť riešenia s dvomi nádržami je, že najvhodnejší čas na prečerpanie vody do vyššej nádrže je príliv, ktorý je zároveň najvhodnejším časom na výrobu výkonu z nižšej nádrže. Podobne je odliv ideálny čas na prečerpanie vody z dolnej nádrže a zároveň ideálny čas na výrobu výkonu z hornej nádrže. V jednoduchej simulácii som zistil, že systém dvoch nádrží na mieste so 4 m prirodzeným rozsahom prílivu, s vhodným rozvrhom prečerpávania, dodáva stály výkon 4,5 W/m<sup>2</sup> (MacKay, 2007a). Hladina vody v jednej nádrži sa vždy drží nad úrovňou hladiny mora a hladina vody v druhej nádrži sa vždy drží pod úrovňou hladiny mora.





Táto koncentrácia výkonu  $4,5 \text{ W/m}^2$  je o 50 % vyššia ako maximálna možná priemerná koncentrácia výkonu bežnej prílivovej elektrárne v tej istej lokalite ( $3 \text{ W/m}^2$ ). Stály výkon systému nádrží by mohol byť cennejší, ako nestály a menej regulovateľný výkon bežného systému.

Tento systém môže plniť tiež funkciu zariadenia na prečerpávanie a uskladnenie vody, teda slúžiť ako prečerpávacía elektrárneň.

## Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

311 *Účinnosť 90 %...* Turbíny majú účinnosť okolo 90 % pri rozdiel hladín 3,7 m alebo viac. Baker a kol. (2006).

320 *„Nepretržitá“ elektrina pomocou dvoch nádrží.* Existujú elektrárne s dvomi nádržami v Haishan, Maoyan Island, v Číne. Jeden generátor umiestnený medzi dvomi nádržami (ako ukazuje obr. G.12 (a)) dodáva výkon nepretržite a priemerne vyrába 39 kW. [2bqapk].

Ďalšie čítanie: Shaw a Watson (2003b); Blunden a Bahaj (2007); Charlier (2003a, b).

O trení na dne a závislosti toku od hĺbky, pozri Sleath (1984).

Viac o odhade prílivových zdrojov vo Veľkej Británii, pozri MacKay (2007b).

Viac o prílivových nádržiac, pozri MacKay (2007a).

Obrázok G.12 Rôzne spôsoby použitia triku čerpania. Dve nádrže sú lokalizované na úrovni mora. (a) Jeden jednoduchý spôsob použitia dvoch nádrží je označiť jednu nádrž ako hornú a druhú ako dolnú. Keď je úroveň okolitého mora blízko k hladine prílivu, voda putuje do hornej nádrže alebo sa do nej aktívne čerpá (použitím elektriny z iných zdrojov). Podobne, keď je úroveň mora blízko k hladine odlivu, vyprázdňuje sa dolná nádrž pasívne alebo použitím čerpadla. Výkon je dostupný vždy. Vyrába sa podľa potreby k presunom vody z hornej nádrže do dolnej nádrže. (b) Iný spôsob, ktorý by mohol dať vyšší výkon na jednotku plochy, nie je spojený s tokom vody medzi dvomi nádržami. Kým sa jedna nádrž čerpá doplna alebo sa odčerpáva, druhá nádrž môže dodávať stály výkon podľa potrieb siete. Čerpanie môžu poháňať nárazové zdroje ako vietor, prebytky zo siete (povedzme, výkon z jadrových elektrární), alebo druhá polovica zariadenia. Vtedy sa výkon jednej nádrže využije na zvyšovanie alebo znižovanie hladiny druhej nádrže.



Obrázok H.1 Nепretržité liatie oceľových ingotov v kórejskej Iron and Steel Company.

## H Výrobky II

### Dovezená energia

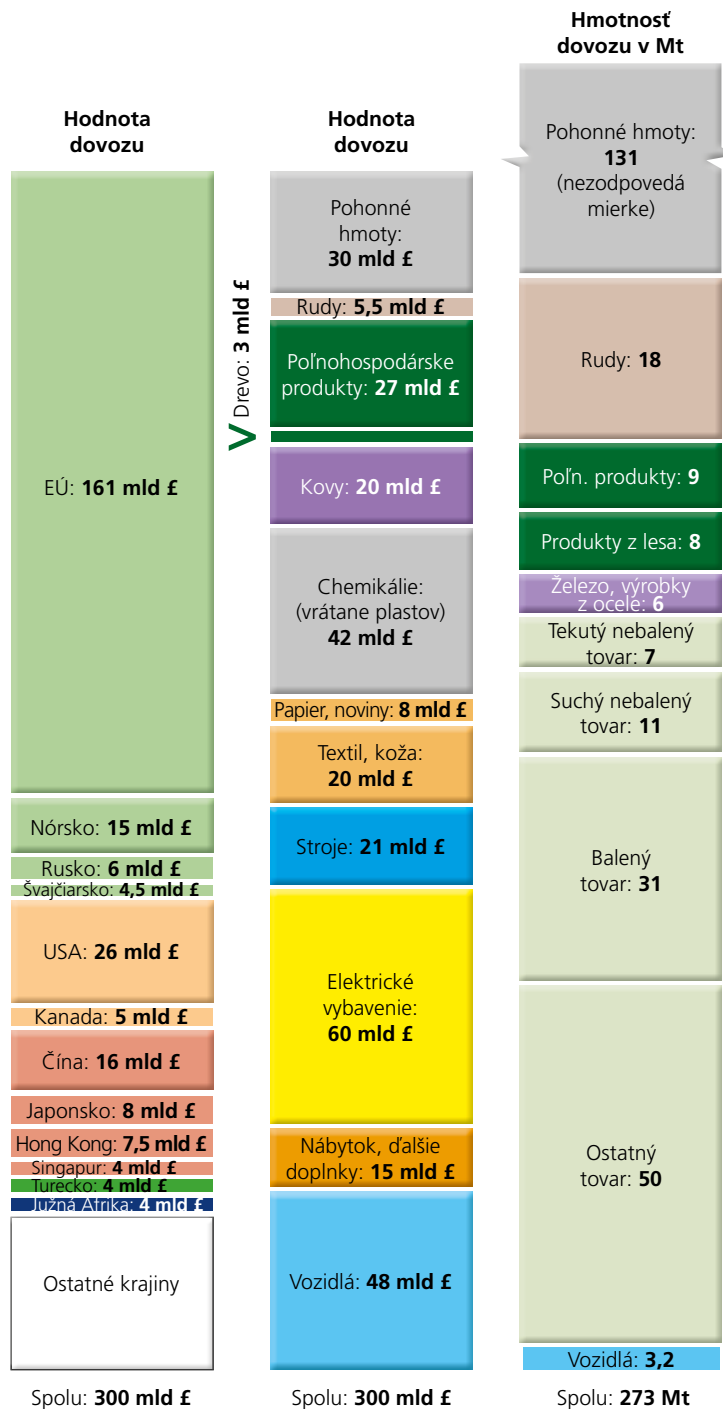
Dieter Helm a kol. odhadli uhlíkovú stopu každej libry tým, že vzali do úvahy priemernú uhlíkovú intenzitu ekonomiky krajiny X (uhlíková intenzita je pomer emisií  $\text{CO}_2$  k HDP) a podiel dovozu z tejto krajiny. Ich záver je, že uhlíková stopa dovezeného tovaru do Veľkej Británie (ktorá by sa mala jednoznačne pripočítať k oficiálnej uhlíkovej stope Veľkej Británie 11 ton  $\text{CO}_2\text{e}$  za rok na osobu), je približne 16 ton  $\text{CO}_2\text{e}$  za rok na osobu. Následná podrobnejšia štúdia, ktorú uskutočnila spoločnosť DEFRA, odhadla, že množstvo  $\text{CO}_2$  pripadajúce na dovezený tovar je menšie, ale stále veľmi výrazné: okolo 6,2 tony  $\text{CO}_2\text{e}$  za rok na osobu. Po prepočítaní 6 ton  $\text{CO}_2\text{e}$  za rok na energiu dostaneme približne 60 kWh za deň.

Pozrime sa na to, či získame podobné výsledky iným spôsobom, konkrétne využitím hmotnosti dovezeného tovaru.

Obrázok H.2 ukazuje dovoz do Veľkej Británie za rok 2006 tromi spôsobmi: Na ľavej strane je celková finančná hodnota rozdelená podľa krajiny pôvodu. V strede je tá istá finančná hodnota rozdelená podľa typu dovezeného materiálu, podľa kategórií ministerstva financií. Pravá strana zobrazuje všetok dovoz podľa hmotnosti a rozdeľuje ho podľa kategórií používaných ministerstvom dopravy, ktoré sa nezaobrá typom tovaru (napr. či ide o kožu alebo tabak), ale sleduje jeho hmotnosť, či ide o kvapalinu alebo pevnú látku, a či materiál priviezli v kontajneri na lodi alebo nákladným autom.

Energetické náklady dovezených palív (vpravo hore) sú zahrnuté v štandardných záznamoch britskej energetickej spotreby. Energetické náklady ostatného tovaru zahrnuté nie sú. Pre väčšinu materiálov je zabudovaná energia na jednotku hmotnosti rovnaká alebo väčšia ako 10 kWh/kg – čo je aj energia na jednotku hmotnosti fosílnych palív. To platí napr. pre všetky kovy a zliatiny, všetky polyméry a zložené materiály, väčšinu papierových a mnoho keramických výrobkov. Výnimku tvoria suroviny ako rudy; ďalej porézna keramika, ako napr. betón, tehla a porcelán, ktoré majú energetické náklady asi 10-krát nižšie; drevo a niektoré gumy a sklá, ktorých energetické náklady sú o málo nižšie ako 10 kWh/kg. [r22oz]

Odhadnúť energetickú stopu dovezeného materiálu môžeme veľmi jednoducho na základe ich hmotnosti, ak nebudeme brať do úvahy materiály, ako sú rudy a drevo. Vzhľadom na nepresnosť údajov, s ktorými pracujeme, určite niekde spravíme chybu a neúmyselne započítame veci vyrobené z dreva či zo skla, ale túto nepresnosť do určitej miery napraví podhodnotenie energetického obsahu väčšiny kovov, plastov a zložitejších materiálov, pri ktorých je energia pripadajúca na ich výrobu nie 10, ale 30 kWh/kg alebo dokonca viac.



Obrázok H.2 Dovoz tovaru do Veľkej Británie, 2006.

Pre tento výpočet vezmem z prvého stĺpca na obrázku H.2 železné a oceľové produkty, nebalené výrobky, náklad uložený v kontajneroch a „iný náklad“, ktorých celková hmotnosť je 98 miliónov ton za rok. Nateraz nechám dopravné prostriedky bokom. Odrátam odhadovaných 25 miliónov ton jedla, ktoré sa pravdepodobne nachádzajú v kategórii „iný náklad“ (v roku 2006 sme doviezli 34 miliónov ton jedla), a zostáva tak 73 miliónov ton.

Ak prepočítame 73 miliónov ton na energiu postupom uvedeným vyššie, po rozdelení medzi 60 miliónov ľudí zistíme, že pre dovezený tovar predstavuje zabudovaná energia 33 kWh/deň na osobu.

V prípade automobilov budeme tápať o niečo menej, pretože vieme o niečo viac. Počet dovezených automobilov v roku 2006 bol 2,4 milióna. Ak vezme-me zabudovanú energiu pripadajúcu na auto 76 000 kWh (ako je uvedené na str. 90), potom predstavuje zabudovaná energia dovezeného auta 8 kWh/deň na osobu.

V odhadoch som vynechal „kvapalné produkty“, pretože si nie som istý, o aký druh produktov ide. Ak ide o tekuté chemikálie, potom ich príspevok môže byť značný.

Dospeli sme k celkovému odhadu 41 kWh/deň na osobu zabudovanej energie pripadajúcej na dovezené materiály – teda jednoznačne odhad v súlade s prácou Dietera Helma a jeho kolegov.

Domnievam sa, že 41 kWh/deň na osobu môže byť podhodnotený odhad, pretože predpokladaná energetická náročnosť (10 kWh na kg) je príliš nízka pre väčšinu výrobkov, ako sú napríklad stroje alebo elektrické nástroje. Keďže nepoznám hmotnosti všetkých dovážaných kategórií, toto je najlepší odhad, ktorý je možné teraz urobiť.



Obrázok H.3 Povrchová baňa na ťažbu nióbu, Brazília.

### Analýza životného cyklu budov

Tabuľky H.4 a H.5 ukazujú odhady *energetických nákladov spracovania* stavebných materiálov a stavebných konštrukcií. Patrí sem energia, ktorá sa spotrebuje na dopravu surovín do závodu, ale nie energia, ktorá sa spotrebuje na dopravu konečných produktov na stavenisko.

S týmito číslami počíta tabuľka H.6 pre odhad energie potrebnej na výstavbu trojizbového domu. *Hrubá spotreba energie* limity zvyšuje, pretože zahŕňa zabudovanú energiu na miestnu infraštruktúru, ako napríklad energiu na stroje, ktoré vyrábajú suroviny. Aby sme získali hrubú spotrebu energie, je potrebné zhruba zdvojnásobiť odhad energetických nákladov spracovania [3kmcks].

Ak rozdelíme 42 000 kWh na obdobie 100 rokov a pre hrubé energetické náklady tento odhad zdvojnásobíme, celková zabudovaná energia pripadajúca na dom je približne 2,3 kWh/deň. Ide o energiu spotrebovanú len na stavbu *obálky* domu – tehly, dlaždice, stropné konštrukcie.

Materiál	Zabudovaná energia	
	(MJ/kg)	(kWh/kg)
Rezané mäkké drevo zo sušiarne	3,4	0,94
Rezané tvrdé drevo zo sušiarne	2,0	0,56
Rezané tvrdé drevo sušené na vzduchu	0,5	0,14
Tvrdá drevovláknitá doska	24,2	6,7
Drevotrieska	8,0	2,2
Polotvrdá drevovláknitá doska	11,3	3,1
Preglejka	10,4	2,9
Lepené lamelové drevo	11	3,0
Dyhové dosky	11	3,0
Slama	0,24	0,07
Zhutnená zemina	0,7	0,19
Dovezená opracovaná žula	13,9	3,9
Miestna opracovaná žula	5,9	1,6
Prášková sadrová omietka	2,9	0,8
Sadrokartón	4,4	1,2
Cemento-vláknité prvky	4,8	1,3
Cement	5,6	1,6
Betón vyrobený na mieste	1,9	0,53
Prefabrikovaný parou zrejúci betón	2,0	0,56
Prefabrikovaný autoklávový betón	1,9	0,53
Pálená tehla	2,5	0,69
Betónový blok	1,5	0,42
Autoklávový pórobetón	3,6	1,0
Plasty - všeobecne	90	25
PVC	80	22
Syntetická guma	110	30
Akrylová farba	61,5	17
Sklo	12,7	3,5
Sklenené vlákno (sklenená vlna)	28	7,8
Hliník	170	47
Meď	100	28
Pozinkovaná oceľ	38	10,6
Nehrdzavejúca oceľ	51,5	14,3

Tabuľka H.4 Zabudovaná energia pre stavebné materiály (ak predpokladáme pôvodné, nie recyklované materiály). (Opracovaný kameň je vyrobený z prírodnej skaly alebo je to kameň, ktorý bol upravený do požadovaného tvaru či veľkosti.) Zdroj: [3kmcs], Lawson (1996).



Tabuľka H.5 Zabudovaná energia pre rôzne steny, podlahy a stropy. Zdroj: [3kmcks], Lawson (1996).

	Zabudovaná energia (kWh/m <sup>2</sup> )
<b>Steny</b>	
Drevená konštrukcia, drevené obloženie, sadrokartón	52
Drevená konštrukcia, obklad z pálenej tehly, sadrokartón	156
Drevená konštrukcia, hliníkový obklad, sadrokartón	112
Oceľová konštrukcia, obklad z tvrdo pálenej tehly, sadrokartón	168
Dvojitá pálená tehla, sadrokartón	252
Cementový stabilizovaný sendvič	104
<b>Podlahy</b>	
Zvýšená trámová podlaha	81
110 mm betónová doska na zemi	179
200 mm prefabrikované T-trámy s výplňou	179
<b>Strechy</b>	
Konštrukcia zo stavebného dreva, betónová krytina, sadrokartón	70
Konštrukcia zo stavebného dreva, pálená krytina, sadrokartón	75
Konštrukcia zo stavebného dreva, plechová krytina, sadrokartón	92

Tabuľka H.6 Zabudovaná energia potrebná na postavenie trojizbového domu.

	Plocha (m <sup>2</sup> )	×	Koncentrácia energie (kWh/m <sup>2</sup> )	=	Energia (kWh)
Podlahy	100	×	81	=	8 100
Strecha	75	×	75	=	5 600
Vonkajšie steny	75	×	252	=	19 000
Vnútorne steny	75	×	125	=	9 400
<b>Spolu</b>					<b>42 000</b>

### Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

322 *Následná podrobnejšia štúdia, ktorú uskutočnila spoločnosť DEFRA, odhaduje, že uhlíková stopa dovezeného tovaru je približne 6,2 tony CO<sub>2</sub>e na osobu.* Wiedmann a kol. (2008).

Ďalšie zdroje: <http://www.greenbooklive.com> udáva informácie o sledovaní životného cyklu materiálov pre budovy.

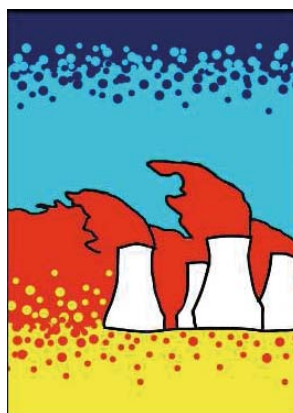
Niektoré užitočné informácie o analýze životného cyklu: <http://www.gdrc.org/uem/lca/life-cycle.html>

Ďalšie linky: <http://www.epa.gov/ord/NRMRL/lcaccess/resources.htm>.



Obrázok H.7 Viadukt Millau vo Francúzsku, najvyšší most na svete. Je z ocele a betónu, 2,5 km dlhý a 353 m vysoký.

Časť IV  
Užitočné údaje



## I Rýchle odkazy

### Jednotky SI

**Watt.** Táto jednotka SI je pomenovaná podľa Jamesa Watta. Tak ako v prípade všetkých jednotiek SI, ktoré majú svoje meno podľa objaviteľa, prvé písmeno sa píše veľkým písmenom (W). Keď však jednotku vypisujeme celým menom, vždy tak robíme s prvým písmenom malým (watt), okrem jednej výnimky „stupňov Celzia“.

z wikipédie

SI je skratka pre Systéme International (Medzinárodný systém). Jednotky SI by mali používať všetci inžinieri, aby neprichádzali o kozmické lode, ako v minulosti.

Jednotky SI		
Energia	jeden joule	1 J
Výkon	jeden watt	1 W
Síla	jeden newton	1 N
Dĺžka	jeden meter	1 m
Čas	jedna sekunda	1 s
Teplota	jeden kelvin	1 K

Predpona	kilo	mega	giga	tera	peta	exa
Symbol	k	M	G	T	P	E
Faktor	$10^3$	$10^6$	$10^9$	$10^{12}$	$10^{15}$	$10^{18}$

Predpona	centi	mili	mikro	nano	pico	femto
Symbol	c	m	$\mu$	n	p	f
Faktor	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$	$10^{-15}$

Tabuľka I.1 Jednotky SI a predpony.

### Moje obľúbené jednotky energie výkonu a účinnosti v doprave

Moje obľúbené jednotky, v jednotkách SI

Energia	Jedna kilowatt-hodina	1 kWh	3 600 000 J
Výkon	Jedna kilowatt-hodina za deň	1 kWh/d	$(1000/24) W \approx 40 W$
Síla	Jedna kilowatt-hodina na 100 km	1 kWh/100 km	36 N
Čas	Jedna hodina	1 h	3 600 s
	Jeden deň	1 d	$24 \times 3 600 s \approx 10^5 s$
	Jeden rok	1 a	$365,25 \times 24 \times 3 600 s \approx \pi \times 10^7 s$
Síla na hmotnosť	Kilowatt-hodina na tona-kilometer	1 kWh/t-km	$3,6 m/s^2 (\approx 0,37 g)$



## Ďalšie jednotky a symboly

Veličina	Názov jednotky	Symbol	Hodnota
Ľudia	osoba	o	
Hmotnosť	tona	t	1 t = 1 000 kg
	gigatona	Gt	1 Gt = $10^9 \times 1\,000$ kg = 1 Pg
Preprava	osobo-kilometer	o-km	
Preprava	tono-kilometer	t-km	
Objem	liter	l	1 l = 0,001 m <sup>3</sup>
Plocha	kilometer štvorcový	km <sup>2</sup>	1 km <sup>2</sup> = 10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup>
	hektár	ha	1 ha = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
	Wales		1 Wales = 21 000 km <sup>2</sup>
	Londýn (Väčší Londýn)		1 Londýn = 1 580 km <sup>2</sup>
Energia	Dinorwig		1 Dinorwig = 9 GWh

## Bilióny, miliardy a ďalšie predpony

V tejto knihe „bilión“ (1 bn) znamená klasický americký bilión, to znamená  $10^9$ , respektíve tisíc miliónov. Trilión je  $10^{12}$ . [V slovenskej verzii je „bilión“ prekladaný ako „miliarda“ ( $10^9$ ) a „trilión“ je prekladaný ako „bilión“ ( $10^{12}$ ) – pozn. prekl.] Štandardná predpona, ktorá vyjadruje „bilión“ je „giga“.

V kontinentálnej Európe predpony Mio a Mrd znamenajú milión a bilión. Mrd je skratka pre miliardu, čo znamená  $10^9$ .

Skratka m sa často používa pre milión, ale nie je kompatibilná s jednotkami SI – ako napríklad mg (miligram). Takže pre milión skratku m nepoužívam. Tam, kde ju niektorí ľudia používajú, nahrádzam ju písmenom M. Napríklad používam Mtoe pre milión ton ropného ekvivalentu a Mt CO<sub>2</sub> pre milión ton CO<sub>2</sub>.

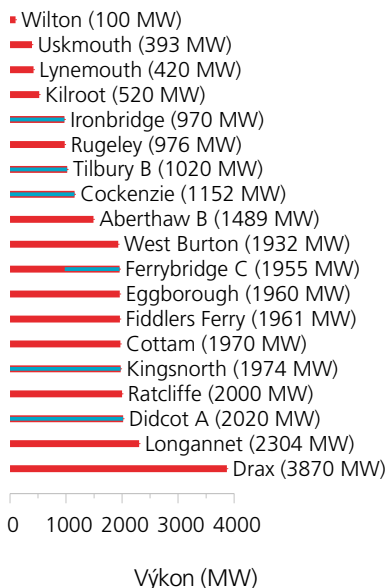
## Hľúpe jednotky

Existuje celý rad bežne používaných jednotiek, ktoré znepríjemňujú život z mnohých príčin. Zistil som, čo niektoré z nich znamenajú. Zhrnul som ich, aby vám to uľahčilo čítanie správ z médií.

### Domácnosť

Jednotka „domácnosť“ sa často používa pri opisovaní výkonu obnoviteľných zdrojov energie. Napríklad, „140 turbín veterného parku Whitlee za 300 miliónov libier vyrobí 322 MW – dostatok pre zásobovanie 200 000 domov.“ Príkon „domácnosti“ je podľa Britskej asociácie pre veternú energiu **4 700 kWh za rok** [[www.bwea.com/ukwed/operational.asp](http://www.bwea.com/ukwed/operational.asp)]. To znamená 0,54 kW alebo **13 kWh za deň** (niekoľko ďalších organizácií používa hodnotu 4 000 kWh/rok pre jednu domácnosť).

Jednotka „domácnosť“ ma otravuje, pretože sa obávam, že ľudia si to



Obrázok 1.2 Výkony uhoľných elektrární vo Veľkej Británii. Zvýraznil som modrou farbou inštalovaný výkon 8 GW, ktorý nebude do roku 2015 k dispozícii. Ak vo Veľkej Británii rovnomerne rozdelíme 2 500 MW, predstavuje to 1 kWh za deň na osobu.

zamieňajú s celkovou spotrebou energie všetkých obyvateľov domácnosti – ale tá je v skutočnosti až 24-krát vyššia. „Domácnosť“ zahŕňa iba priemernú spotrebu elektriny domácnosti. Nezahŕňa spotrebu tepla na vykurovanie. Ani spotrebu v práci. Ani spotrebu v doprave. Ani spotrebu energeticky náročných zariadení, ktoré spoločnosť pre obyvateľov domu vyrába.

Mimochodom, keď sa hovorí o emisiách CO<sub>2</sub> „domácnosti“, oficiálna hodnota sa zdá byť 4 tony CO<sub>2</sub> na domácnosť za rok.

### Elektrárne

Nápady, ako ušetriť energiu, sa často opisujú v jednotkách elektrární. Napríklad, podľa správy BBC, ak by sa vymenili všetky dopravné svietidlá za úsporné LED svietidlá, tak: „Úspory výkonu by boli obrovské – chod dopravných svietidiel vo Veľkej Británii zabezpečuje ekvivalent dvoch stredne veľkých elektrární.“ [http://news.bbc.co.uk/2/hi/sci/tech/specials/sheffield\\_99/449368.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/sci/tech/specials/sheffield_99/449368.stm).

Čo je to stredne veľká elektrárňa? 10 MW? 50 MW? 100 MW? 500 MW? Nemám potuchy. Podľa Google by mohlo ísť o elektrárňu s výkonom 30 MW, podľa iných 250 MW, 500 MW (to je najčastejší údaj), a podľa niektorých 800 MW. Aká zbytočná jednotka!

Nepochybne by bolo užitočnejšie, ak by článok udával ušetrený výkon v percentách. „Chod dopravných svietiel vo Veľkej Británii vyžaduje 11 MW elektriny, čo predstavuje 0,03 % z celkovej spotreby elektriny.“ To by ukázalo, aké „obrovské“ sú úspory.

Obrázok 1.2 znázorňuje výkony 19 uhoľných elektrární vo Veľkej Británii.

### Počet áut, ktoré prestanú jazdiť

Niektoré reklamy opisujú zníženie znečistenia CO<sub>2</sub> v zmysle „ekvivalentného počtu áut, ktoré prestanú jazdiť po uliciach“. Napríklad Richard Branson hovorí, že ak by vlaky Virgin Train's Voyager prešli na palivo s obsahom 20 % bionafty – mimochodom, nezdá sa vám prehnané, nazývať vlak „vlakom na zelený bionaftový pohon“, ak stále jazdí z 80 % na fosilné palivá, a iba z 20 % na bionaftu - ale to som odbočil. Takže, Richard Branson hovorí, že ak by vlaky Virgin Train's Voyager prešli na 20% bionaftový pohon – zdôrazňujem „ak“, pretože ľudia tohto typu radi získavajú pozornosť médií ohlasovaním toho, že uvažujú o dobrých veciach, ale niektoré z týchto vyhlasovaných plánov sa potichu zrušia, tak ako napríklad myšlienka ťahať lietadlá na letisku za sebou na lane, aby boli zelenšie – ospravedlňujem sa, zasa som odbočil. Richard Branson hovorí, že ak by vlaky Virgin Train's Voyager prešli na 20% bionaftový pohon, klesli by emisie CO<sub>2</sub> o 34 500 ton za rok, čo predstavuje ekvivalent „23 000 áut na cestách“. Toto tvrdenie znamená, že:

„jedno auto na ceste“ ↔ -1,5 tony CO<sub>2</sub> za rok.

**Kalórie**

Jednotka kalórie je mäťúca, pretože v reklamách väčšinou nazývajú kilokalóriu Kalóriou. 1 takáto Kalória v jedle = 1 000 kalórií.

$$2\,500\text{ kcal} = 3\text{ kWh} = 10\,000\text{ kJ} = 10\text{ MJ.}$$

**Barely**

Mäťúca jednotka, ktorú zbožňuje komunita ropných magnátov, spolu s tonami ropy. Prečo nemôžu používať iba jednu jednotku? Barel ropy je 6,1 GJ alebo 1 700 kWh.

Barely sú dvojnásobne mäťúce, pretože existuje niekoľko definícií pre barel, a každú z nich charakterizuje iný objem.

Tu je všetko, čo potrebujete vedieť o bareli ropy. Jeden barel je 42 amerických galónov alebo 159 litrov. Jeden barel ropy je 0,1364 tony ropy. Jeden barel nespracovanej ropy má energetický obsah 5,75 GJ. Jeden barel ropy váži 136 kg. Jedna tona ropy je 7,33 barelu a 42,1 GJ. Skleníkové znečistenie ropou predstavuje 400 kg CO<sub>2</sub> na barel. [www.chemlink.com.au/conversions.htm](http://www.chemlink.com.au/conversions.htm). To znamená, že ak je cena ropy 100 dolárov za barel, energia z ropy stojí 6 centov/kWh. Pri uhlíkovej dani 250 dolárov za tonu CO<sub>2</sub> z fosílnych palív, by táto daň zvýšila cenu barelu ropy o 100 dolárov.

**Galóny**

Galón by bola prijateľná jednotka, keby ju Američania nedefinovali inak, ako všetci ostatní. Tak ako to urobili s pintou a kvartom. Objemové jednotky v Amerike predstavujú približne 5/6 správnych objemov.

$$1\text{ americký galón} = 3,785\text{ l} = 0,83\text{ britského galónu. } 1\text{ britský galón} = 4,545\text{ l.}$$

**Tony**

Tony sú v anglicky hovoriacom svete mäťúce, pretože existujú krátke a dlhé tony, a metrické tony. Sú si také podobné, že sa neobťažujem ich rozlišovať. 1 krátka tona (2 000 libier) = 907 kg; 1 dlhá tona (2 240 libier) = 1 016 kg; 1 metrická tona = 1 000 kg.

**BTU a kvady**

Britské termálne jednotky sú nepekné, pretože nie sú súčasťou ani Medzinárodného systému, ani nemajú užitočnú veľkosť. Tak ako príliš malý joule, sú tiež dosť malé, preto pred ne pridávajú bláznivé americké predpony, ako „kvadrilión“ (10<sup>15</sup>), aby sa s nimi dalo vhodne pracovať.

$$1\text{ kJ je } 0,947\text{ BTU. } 1\text{ kWh je } 3\,409\text{ BTU.}$$

„Kvad“ je 1 „americký kvadrilión“ BTU = 293 TWh. [V slovenčine hovoríme biliarda, teda 10<sup>15</sup> – pozn. prekl.]

## Zábavné jednotky

### Pohár čaju

Je takýto spôsob porovnávania so solárnymi panelmi nejako užitočný? „Ak umiestnime 7 000 fotovoltaických panelov, očakáva sa, že každý rok vyrobí 180 000 jednotiek obnoviteľnej elektriny – dostatok na výrobu **deviatich miliónov pohárov čaju.**“ Takýto prepočet znamená, že 1 kWh sa rovná 50 pohárov čaju.

V prípade objemovej jednotky 1 americký pohár (polovica americkej pinty) je oficiálne 0,24 l; ale pohár čaju alebo kávy je zvyčajne 0,18 l. Zvýšenie teploty pre 50 pohárov vody s objemom 0,18 l z 15° na 100° C vyžaduje 1 kWh.

Takže „deväť miliónov pohárov čaju za rok“ je iný spôsob vyjadrenia pre „20 kW“.

### Dvojposchodové autobusy, Albertove haly a štadióny Wembley

„Ak by si každý vo Veľkej Británii vyplnil dutiny v stenách izoláciou, mohli by sme znížiť emisie skleníkových plynov o obrovských 7 miliónov ton. To je toľko CO<sub>2</sub>, koľko naplní 40 miliónov dvojposchodových autobusov alebo nový štadión Wembley 900-krát!“

Z toho sa naučíme užitočný fakt, že Wembley má objem 44 000 dvojposchodových autobusov. Objem štadiónu Wembley je v skutočnosti 1 140 000 m<sup>3</sup>.

„Ak by každá domácnosť nainštalovala čo len jednu úspornú žiarivku, ušetrilo by sa toľko CO<sub>2</sub>, že by sme s ním naplnili Kráľovskú Albertovu halu 1 980-krát!“ (Albertova hala má objem 100 000 m<sup>3</sup>).

Ak vyjadrujeme množstvo CO<sub>2</sub> v objeme, radšej ako v hmotnosti, ide o vynikajúci spôsob, ako zvýrazníme jeho veľkosť. Ak znie „1 kg CO<sub>2</sub> za deň“ príliš málo, stačí povedať „200 000 litrov CO<sub>2</sub> za rok“!

### Ďalšie objemy

Kontajner je 2,4 m široký, 2,6 m vysoký a (6,1 alebo 12,2) metra dlhý (pre TEU, respektíve FEU).

Jeden TEU má veľkosť malého 20-stopového kontajnera – vnútorný objem približne 33 m<sup>3</sup>. Väčšina kontajnerov, ktoré dnes vidíte, sú 40-stopové kontajner s veľkosťou 2 TEU. Jeden váži 4 tony a dokáže odnieť 26 ton nákladu. Jeho objem je 67,5 m<sup>3</sup>.

Bazén má objem približne 3 000 m<sup>3</sup>.

Jeden poschodový autobus má objem 100 m<sup>3</sup>.

Jeden vzdušný balón má objem 2 500 m<sup>3</sup>.

Veľká pyramída v Gize má objem 2 500 000 m<sup>3</sup>.

Hmotnosť CO <sub>2</sub> ↔ Objem
2 kg CO <sub>2</sub> ↔ 1 m <sup>3</sup>
1 kg CO <sub>2</sub> ↔ 500 litrov
44 g CO <sub>2</sub> ↔ 22 litrov
2 g CO <sub>2</sub> ↔ 1 liter

Tabuľka I.3 Prepočty objemu na hmotnosť.



Obrázok I.4 20-stopový kontajner (1 TEU).

[1 stopa ≈ 30 cm – pozn. prekl.]

## Rozlohy

Rozloha povrchu Zeme je  $500 \times 10^6 \text{ km}^2$ . Rozloha kontinentov je  $150 \times 10^6 \text{ km}^2$ .

Môj typický 3-izbový dom má podlahovú plochu  $88 \text{ m}^2$ . V USA je priemerne podlahová plocha rodinného domu 2 330 štvorcových stôp ( $216 \text{ m}^2$ ).

Spôsob využitia krajiny	Rozloha na osobu (m <sup>2</sup> )	Percentá
Budovy domácností	30	1,1
Záhrady domácností	114	4,3
Ostatné budovy	18	0,66
Cesty	60	2,2
Železnice	3,6	0,13
Chodníky	2,9	0,11
Zelené plochy	2 335	87,5
Voda	69	2,6
Iné využitie	37	1,4
Spolu	2 670	100

1 000 BTU za hodinu	= 0,3 kW	= 7 kWh/d
1 konská sila (1 hp alebo 1 cv alebo 1 ps)	= 0,75 kW	= 18 kWh/d
	1 kW	= 24 kWh/d
1 therm	= 29,31 kWh	
1 000 BTU	= 0,2931 kWh	
1 MJ	= 0,2778 kWh	
1 GJ	= 277,8 kWh	
1 toe (tona ropného ekvivalentu)	= 11 630 kWh	
1 kcal	= $1,163 \times 10^{-3} \text{ kWh}$	
1 kWh =	0,03412 therm	3 412 Btu
		3,6 MJ
		$86 \times 10^{-6} \text{ toe}$
		859,7 kcal

## Výkony

Ak pridáme „e“ za údaj o výkone, znamená to, že hovoríme vyslovene o elektrickom výkone. Napríklad, výkon elektrárne môže byť 1 GW (e), zatiaľ čo využíva chemický príkon 2,5 GW. Podobne tak, pridanie poznámky „t“ naznačuje, že máme na mysli množstvo tepla. Tie isté prípony je možné pridať k celkovému množstvu energie. „Môj dom spotrebuje 2 kWh (e) elektriny za deň.“

Ak pridáme k výkonu „p“, naznačuje to „maximálny“, tiež nazývaný ako nominálny alebo menovitý inštalovaný výkon alebo „kapacitu“. Napríklad, 10 m<sup>2</sup> panelov by mohlo mať výkon 1 kW p.

hektár	= $10^4 \text{ m}^2$
aker	= $4 050 \text{ m}^2$
štvorcová míľa	= $2,6 \text{ km}^2$
štvorcová stopa	= $0,0093 \text{ m}^2$
štvorcový yard	= $0,84 \text{ m}^2$

Tabuľka I.5 Plošné veľkosti.

Tabuľka I.6 Rozlohy krajiny v Anglicku, využité pre rôzne účely. Zdroj: Generalized Land Use Database Statistics for England 2005 [3b7zdf].

Schéma I.7 Ako sa vzťahujú iné jednotky energie a výkonu ku kilowatthodine a kilowatthodine za deň.

1 kWh/d = 1/24 kW.

1 toe/rok = 1,33 kW. (Tona ropného ekvivalentu za rok.)

Benzín na pumpe čerpáme rýchlosťou asi pol litra za sekundu. Takže to je 5 kWh za sekundu alebo 18 MW.

Výkon závodného auta Formule 1 je 560 kW.

Spotreba elektriny vo Veľkej Británii je 17 kWh za deň na osobu alebo 42,5 GW pre celú krajinu.

„Jedna tona“ klimatizácie = 3,5 kW.

### Celosvetová spotreba energie

Celkový príkon (chemický, elektrický, tepelný), ktorý sa vo svete využíva, je 15 TW. Z toho je elektrický príkon iba 2 TW.

### Užitočné konverzné faktory

Na premenu TWh za rok na GW, vydeľte 9.

1 kWh/d na osobu je rovnaké množstvo ako 2,5 GW pre Veľkú Britániu alebo 22 TWh/rok pre Veľkú Britániu.

Na premenu mpg (míl na britský galón) na km na liter vydeľte 3.

Pri izbovej teplote,  $1 kT = 1/40$  eV.

Pri izbovej teplote,  $1 kT$  na molekulu = 2,5 kJ/mól.

### Záznamy meračov

Ako premeniť čísla na vašich meračoch plynu na kilowatthodiny:

- Ak merač ukazuje v **100-vkách kubických stôp**, číslo vynásobte **32,32** a získate hodnotu v kWh.
- Ak merač ukazuje v kubických metroch, číslo vynásobte **11,42** a získate hodnotu v kWh.

### Spalné teplá palív

Ropa: 37 MJ/l; 10,3 kWh/l.

Zemný plyn: 38 MJ/m<sup>3</sup>. (Metán má hustotu 0,7 kg/m<sup>3</sup>.)

1 tona uhlia: 29,3 GJ; 8 000 kWh.

Energia zlúčenia vodíka a kyslíka na obyčajnú vodu: 1 800 kWh na liter.

Pozri aj tabuľku 26.14 na strane 199 a tabuľku D.3, na strane 284.

### Tepelné kapacity

Tepelná kapacita vzduchu je 1 kJ/kg/°C alebo 29 J/mol/°C. Hustota vzduchu je 1,2 kg/m<sup>3</sup>. Tepelná kapacita vzduchu na jednotku objemu je 1,2 kJ/m<sup>3</sup>/°C.

[k je Boltzmanova konštanta a T je teplota. Jednotka kT vyjadruje množstvo tepla potrebné pre zvýšenie termodynamickú entropie systému. Elektrónvolt (eV) je množstvo energie, ktorú získa jeden neviazaný elektrón pri prechode medzi dvomi bodmi s rozdielom elektrostatického potenciálu rovným jednému voltu, vo vákuu. - pozn. prekl.]

kWh/t-km

Po vode vo vnútrozemí	0,083
Železničná	0,083
Kamiónová	0,75
Vzduchom	2,8
Ropovodom	0,056
Plynovodom	0,47
Námorná kontajnerová	0,056
Námorná, sypký materiál	0,056
Námorná, tankerom	0,028

Tabuľka I.8 Energetická intenzita jednotlivých spôsobov dopravy v USA.  
Zdroj: Weber a Matthews (2008).

Latentné teplo vyparovania vody: 2 257,92 kJ/kg. Tepelná kapacita vodnej pary: 1,87 kJ/kg/°C. Tepelná kapacita vody je 4,2 kJ/l/°C. Hustota vodnej pary je 0,590 kg/m<sup>3</sup>.

## Tlak

Atmosférický tlak je: 1 bar  $\approx$  10<sup>5</sup> Pa (pascalov). Tlak v hĺbke 1 000 m vody: 100 barov. Tlak v hĺbke 3 000 m vody: 300 barov.

## Peniaze

Pri prepočítavaní mien som predpokladal nasledovné výmenné kurzy: 1 € = 1,26 \$; 1 £ = 1,85 \$; 1 \$ = 1,12 C\$ [kanadský dolár]. Tieto kurzy platili pre rok 2006.

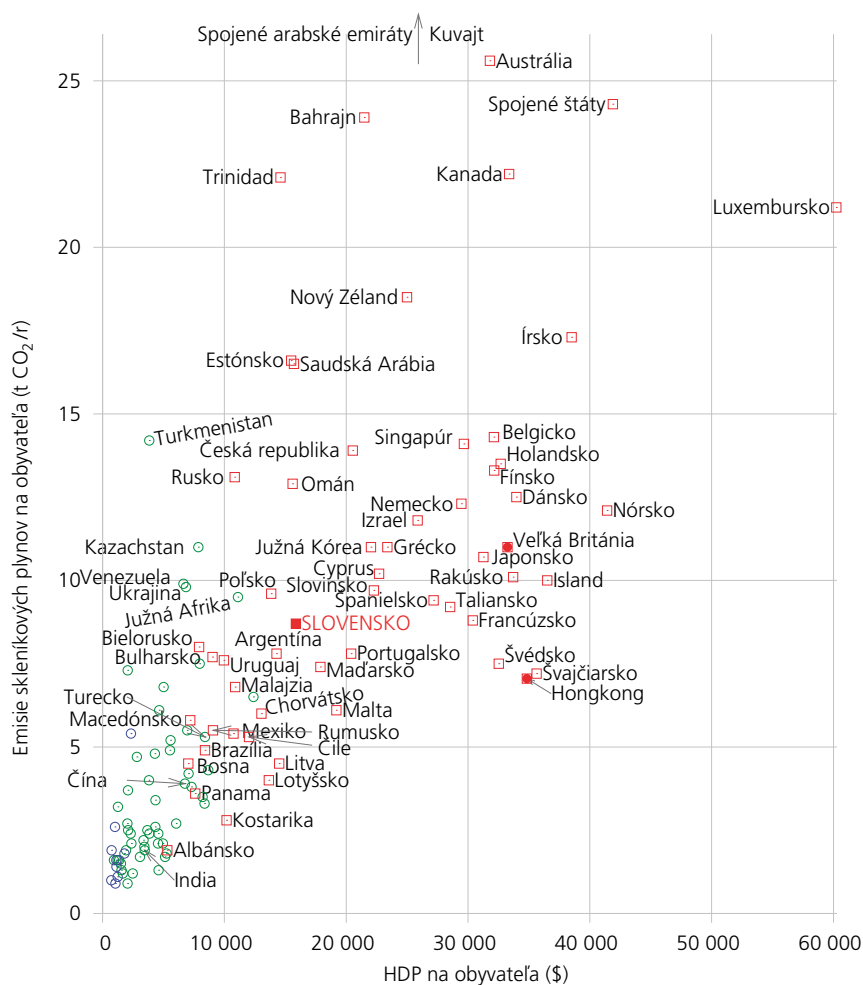
## Konverzné faktory skleníkových plynov

Francúzsko	83	Druh paliva	Emisie
Švédsko	87		(g CO <sub>2</sub> na kWh
Kanada	220		chemickej energie)
Rakúsko	250		
Belgicko	335	Zemný plyn	190
Európska únia	353	Rafinovaný plyn	200
Fínsko	399	Etán	200
Španielsko	408	LPG	210
Japonsko	483	Letecký benzín (kerozín)	240
Portugalsko	525	Benzín	240
Veľká Británia	580	Topný olej/nafta	250
Luxembursko	590	Ťažký topný olej	260
Nemecko	601	Ropa	260
USA	613	Koks	300
Holandsko	652	Uhlie	300
Taliansko	667	Ropný koks	340
Írsko	784		
Grécko	864		
Dánsko	881		

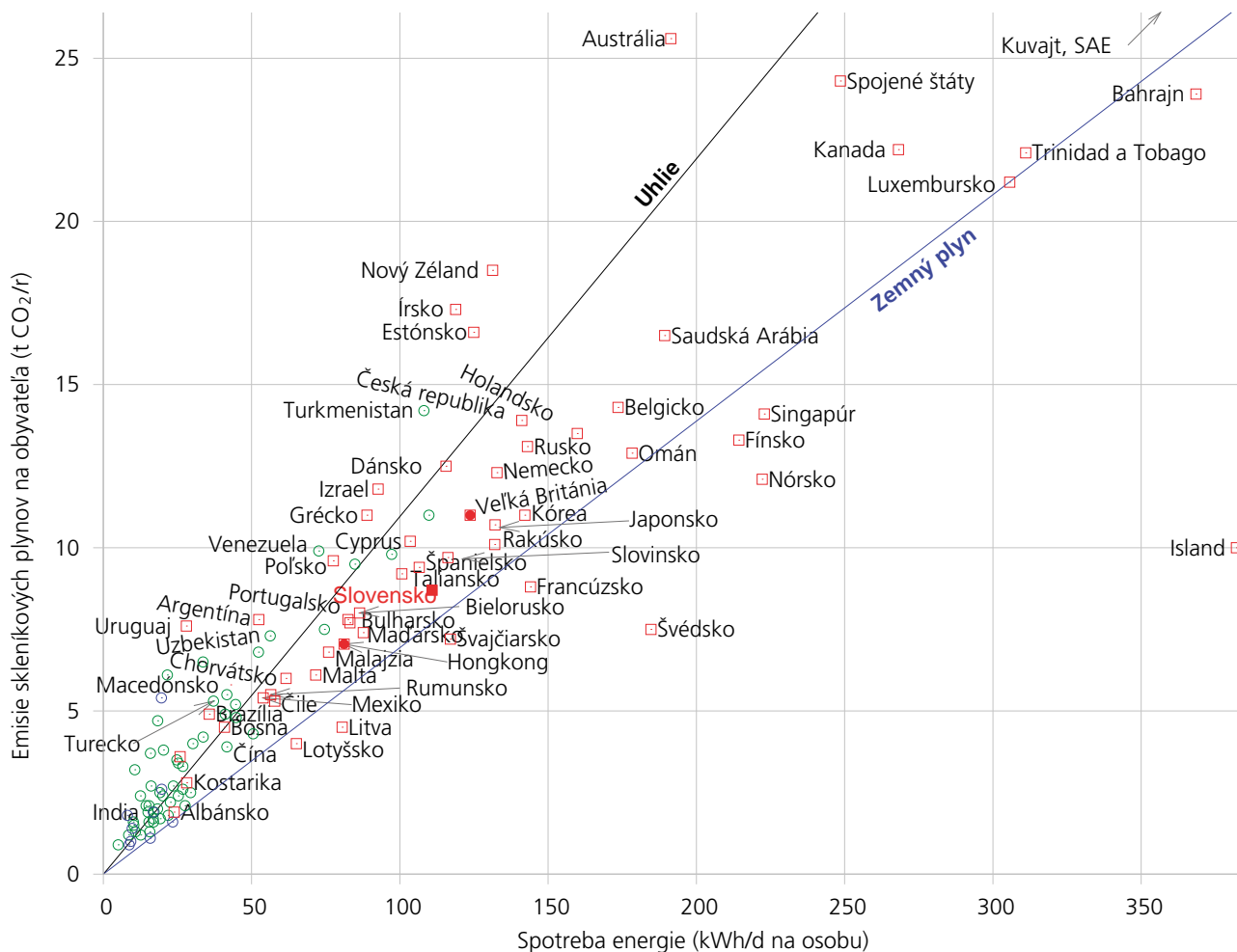
Tabuľka I.9 Uhlíková intenzita výroby elektriny (g CO<sub>2</sub> na kWh elektriny).

Tabuľka I.10 Emisie spojené so spaľovaním paliva. Zdroj: DEFRA - Environmental Reporting Guidelines for Company Reporting on Greenhouse Gas Emissions.

Obrázok 1.11 Emisie skleníkových plynov na obyvateľa vo vzťahu k HDP na obyvateľa v parite kúpnej sily v amerických dolároch. Štvorce ukazujú krajiny „s vysokým indexom ľudského rozvoja;“ kruhy „so stredným“ alebo „s nízkym“ indexom rozvoja. Pozri aj obrázky 30.1 (str. 231) a 18.4 (str. 105). Zdroj: Správa ľudského rozvoja UNDP, 2007. [3av4s9].







Obrázok I.12 Emisie skleníkových plynov na osobu vo vzťahu ku potrebe príkonu na osobu. Čiary ukazujú emisné intenzity uhlia a zemného plynu. Štvorce ukazujú krajiny s „vysokým indexom ľudského rozvoja“; kruhy „so stredným“ alebo „s nízkym“. Pozri aj obrázky 30.1 (str. 231) a 18.4 (str. 105). Zdroj: Správa ľudského rozvoja UNDP, 2007. [3av4s9].

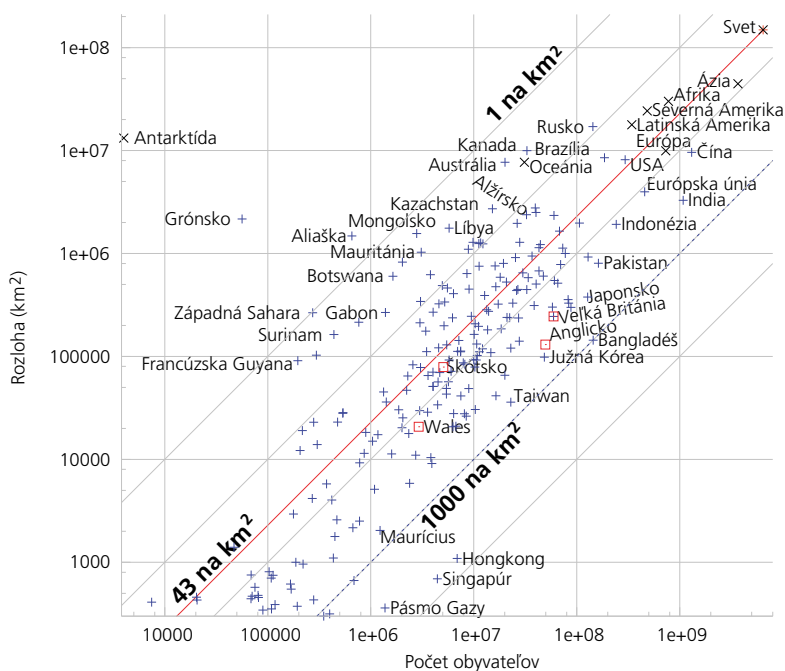
## J Populácie a rozlohy

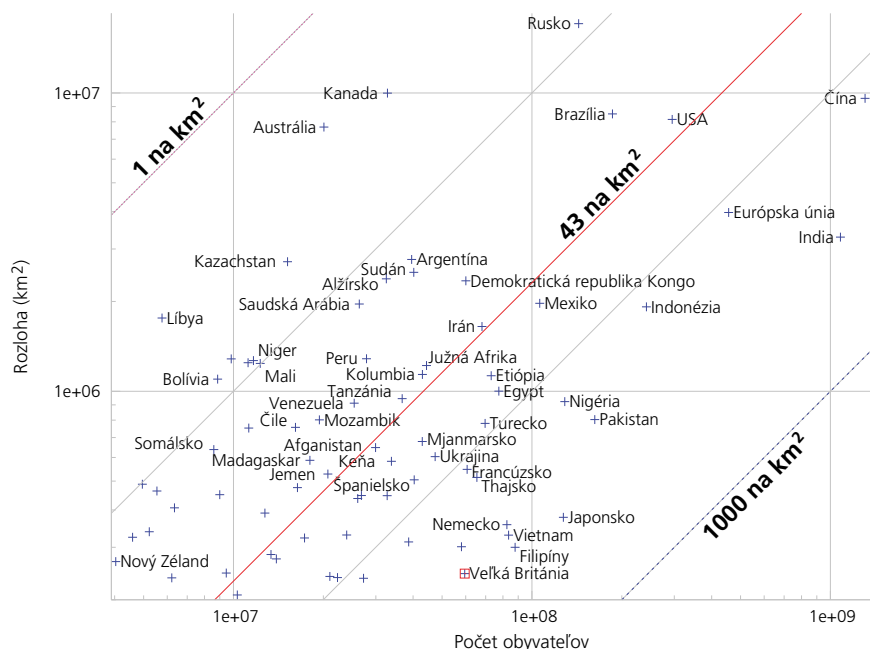
### Populačné hustoty

Obrázok J.1 ukazuje veľkosti rozličných regiónov vo vzťahu k obyvateľstvu. Diagonálne čiary na tomto diagrame sú čiary s konštantnou hustotou obyvateľstva. Bangladéš na pravej predposlednej čiare má hustotu 1 000 obyvateľov na štvorcový kilometer; India, Anglicko, Holandsko a Japonsko majú oproti tomu tretinové populačné hustoty: približne 350 na km<sup>2</sup>. Mnoho európskych krajín má hustotu približne 100 na km<sup>2</sup> [Slovensko má 110 – pozn. prekl.]. Extrém na druhej strane predstavuje Kanada, Austrália a Líbya, s hustotou obyvateľov približne 3 ľudia na km<sup>2</sup>. Stredná čiara vyznačuje hustotu obyvateľov celého sveta: 43 ľudí na štvorcový kilometer. [Dnes je to 47 – pozn. prekl.] Z tohto pohľadu sú USA priemernou krajinou. Ich 48 štátov má rovnakú hustotu obyvateľstva ako celý svet. Regióny, ktoré majú pomerne veľké rozlohy a ich hustoty sú pod svetovým priemerom, zahŕňajú Rusko, Kanadu, Latinskú Ameriku, Sudán, Alžírsko, Saudskú Arábiu.

Z týchto veľkých a rozľahlých krajín sú niektoré pomerne blízko Veľkej Británie, a preto by sme k nim mali byť priateľskí. Ide o Kazachstan, Líbyu, Saudskú Arábiu, Alžírsko a Sudán.

Obrázok J.1 Obyvateľstvo a rozlohy krajín a regiónov sveta. Obe mierky sú logaritmické. Všetky šikmé čiary ukazujú rovnaké hustoty obyvateľstva; krajiny s najvyššou hustotou ľudí sú vpravo dole a tie s nižšou hustotou ľudí sú vľavo hore. Údaje sú zhrnuté v tabuľke na str. 341.

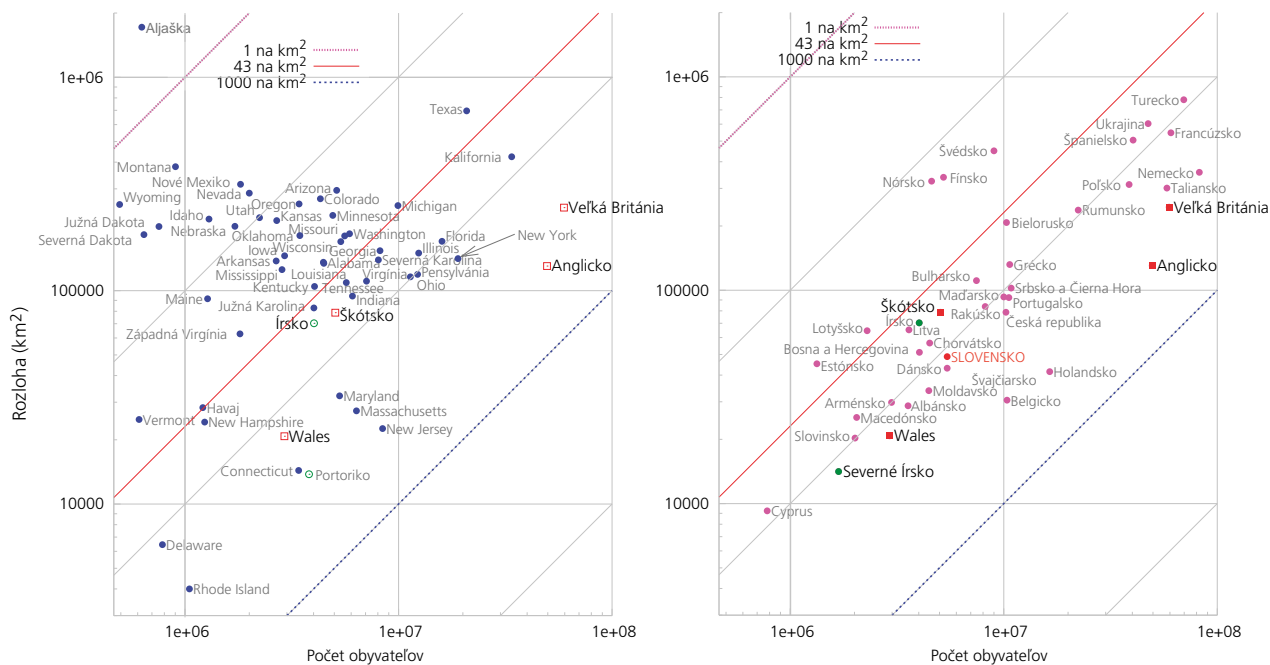




Obrázok J.2 Obyvateľstvo a rozlohy krajín a regiónov sveta. Obe mierky sú logaritmické. Šikmé čiary ukazujú rovnaké hustoty populácií. Toto je detail obrázku na predošlej strane. Údaje sú zhrnuté v tabuľke na str. 341.

Región	Obyvateľstvo	Rozloha (km <sup>2</sup> )	Ľudí na (km <sup>2</sup> )	Rozloha na osobu (m <sup>2</sup> )
Svet	6 440 000 000	148 000 000	43	23 100
Ázia	3 670 000 000	44 500 000	82	12 100
Afrika	778 000 000	30 000 000	26	38 600
Európa	732 000 000	9 930 000	74	13 500
Severná Amerika	483 000 000	24 200 000	20	50 200
Latinská Amerika	342 000 000	17 800 000	19	52 100
Oceánia	31 000 000	7 680 000	4	247 000
Antarktída	4 000	13 200 000		

Obrázok J.3 Hustoty obyvateľstva kontinentov. Tieto údaje sú graficky znázornené na obrázkoch J.1 a J.2. Údaje sú z roku 2005.



Obrázok J.4 Obyvateľstvo a rozloha štátov v USA a oblastiach Európy.

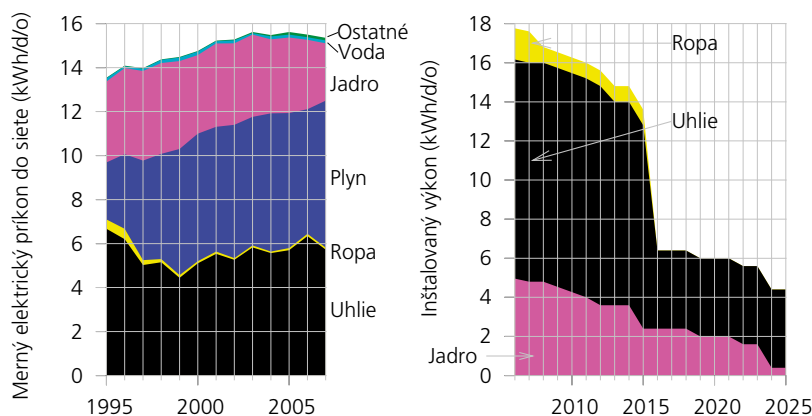


## K História energie Veľkej Británie

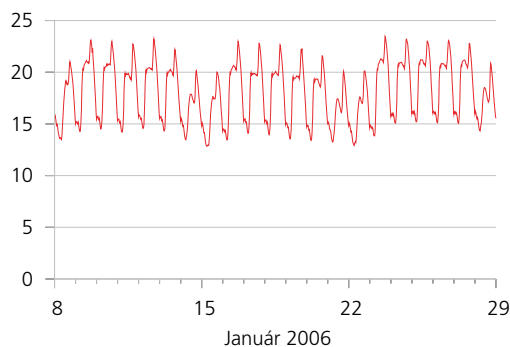
Tabuľka K.1 Primárne zdroje energie vo Veľkej Británii (2004-2006).

Primárne palivo	kWh/d/o	kWh (e)/d/o
Ropa	43	
Zemný plyn	47	
Uhlie	20	
Jadro	9	→ 3,4
Voda		0,2
Ostatné obnoviteľné zdroje		0,8

Obrázok K.2 Vľavo: Celková výroba elektriny dodanej do siete vo Veľkej Británii, podľa jednotlivých zdrojov, v kWh za deň na osobu (ďalších 0,9 kWh/d/o spotrebujú generátory pre seba). Vpravo: Chýbajúca energia, ktorú spôsobí zatvorenie britských elektrární, podľa predpovedí EDF. Tento graf ukazuje predpokladaný maximálny merný výkon jadrových, uhoľných a ropných elektrární v kWh za deň na osobu. To je taký, aký by do siete dodávali, keby stále fungovali naplno.

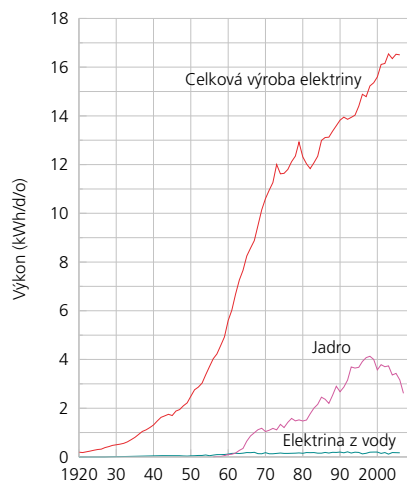


Obrázok K.3 Potreba inštalovaného merného výkonu vo Veľkej Británii (v kWh/d/o) v priebehu dvoch týždňov počas zimy roku 2006. Maximá v januári sú o 18:00 každý deň. (Ak chcete údaje pre celú krajinu v GW, tak 24 kWh/d na osobu je to isté ako 60 GW pre Veľkú Britániu.)

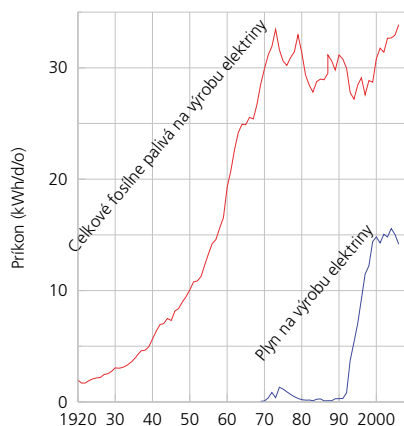


Tabuľka K.4 Ceny elektriny (2006, 2007) pre domácnosti, ktoré boli zákazníkmi PowerGenu v Cambridgei, vrátane dane (p = pence).

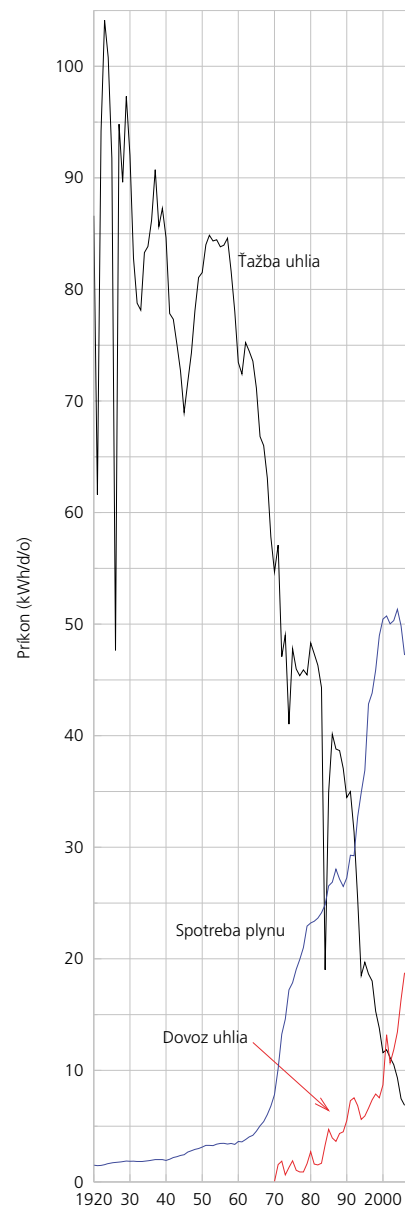
	2006	2007
„Primárne jednotky“ (prvé 2 kWh/d)	10,73 p/kWh	17,43 p/kWh
„Sekundárne jednotky“ (zvyšok)	9,13 p/kWh	9,70 p/kWh



Tabuľka K.5 História produkcie celkovej elektriny, elektriny z vody a elektriny z jadra vo Veľkej Británii. Výkony sú vyjadrené „na osobu“, vydelením celkového výkonu 60 miliónmi.



Tabuľka K.6 História spotreby fosílnych palív pre získavanie elektriny vo Veľkej Británii. Chemické príkony sú vyjadrené „na osobu“, vydelením celkového príkonu 60 miliónmi.



Tabuľka K.7 História ťažby a dovozu uhlia a spotreba zemného plynu vo Veľkej Británii. Chemické príkony sú opäť vyjadrené „na osobu“.

## Zoznam internetových odkazov

Táto časť obsahuje zoznam celých odkazov, ktoré zodpovedajú tiny URL, a ktoré sa spomínajú v texte knihy. Každý odkaz začína číslom strany, na ktorom sa spomína tiny URL. Pozri aj <http://tinyurl.com/yh8xse> (alebo [www.inference.phy.cam.ac.uk/sustainable/book/tex/cft.url.html](http://www.inference.phy.cam.ac.uk/sustainable/book/tex/cft.url.html)) pre možnosť priamo klikat na odkazy.

Ak nájdete nejaký URL odkaz, ktorý už nefunguje, môžete nájsť túto stránku v internetovom archíve Wayback Machine [f754].

str.	tinyURL	celý internetový odkaz.
18	ydoobr	<a href="http://www.bbc.co.uk/radio4/news/anyquestions_transcripts_20060127.shtml">www.bbc.co.uk/radio4/news/anyquestions_transcripts_20060127.shtml</a>
18	2jhve6	<a href="http://www.ft.com/cms/s/0/48e334ce-f355-11db-9845-000b5df10621.html">www.ft.com/cms/s/0/48e334ce-f355-11db-9845-000b5df10621.html</a>
19	25e59w	<a href="http://news.bbc.co.uk/1/low/uk_politics/7135299.stm">news.bbc.co.uk/1/low/uk_politics/7135299.stm</a>
19	5o7mxk	<a href="http://www.guardian.co.uk/environment/2007/dec/10/politics">www.guardian.co.uk/environment/2007/dec/10/politics</a>
19	5c4olc	<a href="http://www.foe.co.uk/resource/press_releases/green_solutions_undermined_10012008.html">www.foe.co.uk/resource/press_releases/green_solutions_undermined_10012008.html</a>
19	2fztd3	<a href="http://www.jalopnik.com/cars/alternative-energy/now-thats-some-high-quality-h2o-car-runs-on-water-177788.php">www.jalopnik.com/cars/alternative-energy/now-thats-some-high-quality-h2o-car-runs-on-water-177788.php</a>
19	26e8z	<a href="http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/3381425.stm">news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/3381425.stm</a>
19	ykhayj	<a href="http://politics.guardian.co.uk/terrorism/story/0,,1752937,00.html">politics.guardian.co.uk/terrorism/story/0,,1752937,00.html</a>
20	l6y5g	<a href="http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/fig3-1.htm">www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/fig3-1.htm</a>
20	5qfkaw	<a href="http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12181">www.nap.edu/catalog.php?record_id=12181</a>
21	2z2xg7	<a href="http://assets.panda.org/downloads/2_vs_3_degree_impacts_1oct06_1.pdf">assets.panda.org/downloads/2_vs_3_degree_impacts_1oct06_1.pdf</a>
21	yyxq2m	<a href="http://www.bp.com/genericsection.do?categoryId=93&amp;contentId=2014442">www.bp.com/genericsection.do?categoryId=93&amp;contentId=2014442</a>
21	dzcqg	<a href="http://www.defra.gov.uk/environment/climatechange/internat/pdf/avoid-dangercc.pdf">www.defra.gov.uk/environment/climatechange/internat/pdf/avoid-dangercc.pdf</a>
21	y98ys5	<a href="http://news.bbc.co.uk/1/hi/business/4933190.stm">news.bbc.co.uk/1/hi/business/4933190.stm</a>
30	5647rh	<a href="http://www.dft.gov.uk/pgr/statistics/datatablespublications/tsgb/">www.dft.gov.uk/pgr/statistics/datatablespublications/tsgb/</a>
31	27jdc5	<a href="http://www.dft.gov.uk/pgr/statistics/datatablespublications/energyenvironment/tsgb-chapter3energyandtheenvi1863">www.dft.gov.uk/pgr/statistics/datatablespublications/energyenvironment/tsgb-chapter3energyandtheenvi1863</a>
31	28abpm	<a href="http://corporate.honda.com/environmentology/">corporate.honda.com/environmentology/</a>
31	nmn4l	<a href="http://www.simetric.co.uk/si_liquids.htm">www.simetric.co.uk/si_liquids.htm</a>
31	2hcgdh	<a href="http://cta.ornl.gov/data/appendix_b.shtml">cta.ornl.gov/data/appendix_b.shtml</a>
34	vxhhj	<a href="http://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/weather/">www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/weather/</a>
34	tdvml	<a href="http://www.phy.hw.ac.uk/resrev/aws/aw sarc.htm">www.phy.hw.ac.uk/resrev/aws/aw sarc.htm</a>
36	3fbufz	<a href="http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/004.htm">www.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/004.htm</a>
36	3asmgy	<a href="http://news.independent.co.uk/uk/transport/article324294.ece">news.independent.co.uk/uk/transport/article324294.ece</a>
36	9ehws	<a href="http://www.boeing.com/commercial/747family/technical.html">www.boeing.com/commercial/747family/technical.html</a>
36	3exmgv	<a href="http://www.ryanair.com/site/EN/about.php?page=About&amp;sec=environment">www.ryanair.com/site/EN/about.php?page=About&amp;sec=environment</a>
36	yrmnum	<a href="http://www.grida.no/climate/ipcc/aviation/124.htm">www.grida.no/climate/ipcc/aviation/124.htm</a>
37	36w5gz	<a href="http://www.rolls-royce.com/community/downloads/environment04/products/air.html">www.rolls-royce.com/community/downloads/environment04/products/air.html</a>
44	2rqloc	<a href="http://www.metoffice.gov.uk/climate/uk/location/scotland/index.html">www.metoffice.gov.uk/climate/uk/location/scotland/index.html</a>
44	2szckw	<a href="http://www.metoffice.gov.uk/climate/uk/stationdata/cambridgedata.txt">www.metoffice.gov.uk/climate/uk/stationdata/cambridgedata.txt</a>
45	5hrxls	<a href="http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?+s01">eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?+s01</a>
45	6z9epq	<a href="http://www.solarcentury.com/knowledge_base/images/solar_pv_orientation_diagram">www.solarcentury.com/knowledge_base/images/solar_pv_orientation_diagram</a>
47	2tl7t6	<a href="http://www.reuk.co.uk/40-Percent-Efficiency-PV-Solar-Panels.htm">www.reuk.co.uk/40-Percent-Efficiency-PV-Solar-Panels.htm</a>
47	6hobq2	<a href="http://www.azonano.com/news.asp?newsID=4546">www.azonano.com/news.asp?newsID=4546</a>



47	2lsx6t	<a href="http://www.udel.edu/PR/UDaily/2008/jul/solar072307.html">www.udel.edu/PR/UDaily/2008/jul/solar072307.html</a>
47	62ccou	<a href="http://www.nrel.gov/news/press/2008/625.html">www.nrel.gov/news/press/2008/625.html</a>
48	5hzs5y	<a href="http://www.ens-newswire.com/ens/dec2007/2007-12-26-093.asp">www.ens-newswire.com/ens/dec2007/2007-12-26-093.asp</a>
48	39z5m5	<a href="http://news.bbc.co.uk/1/hi/world/europe/6505221.stm">news.bbc.co.uk/1/hi/world/europe/6505221.stm</a>
48	2uk8q8	<a href="http://www.powerlight.com/about/press2006_page.php?id=59">www.powerlight.com/about/press2006_page.php?id=59</a>
48	2ahecp	<a href="http://www.aps.org/meetings/multimedia/upload/The%20Status%20and%20Outlook%20for%20the%20Photovoltaics%20Industry%20David%20E%20Carrison.pdf">www.aps.org/meetings/multimedia/upload/The Status and Outlook for the Photovoltaics Industry David E Carrison.pdf</a>
48	6kqg77	<a href="http://www.defra.gov.uk/erdp/pdfs/ecs/miscanthus-guide.pdf">www.defra.gov.uk/erdp/pdfs/ecs/miscanthus-guide.pdf</a>
58	ynjzej	<a href="http://www.aceee.org/conf/06modeling/azevado.pdf">www.aceee.org/conf/06modeling/azevado.pdf</a>
64	wbd8o	<a href="http://www.ref.org.uk/energydata.php">www.ref.org.uk/energydata.php</a>
66	25e59w	<a href="http://news.bbc.co.uk/1/low/uk_politics/7135299.stm">news.bbc.co.uk/1/low/uk_politics/7135299.stm</a>
66	2t2vjq	<a href="http://www.guardian.co.uk/environment/2007/dec/11/windpower.renewableenergy">www.guardian.co.uk/environment/2007/dec/11/windpower.renewableenergy</a>
66	57984r	<a href="http://www.businessgreen.com/business-green/news/2205496/critics-question-government">www.businessgreen.com/business-green/news/2205496/critics-question-government</a>
66	6oc3ja	<a href="http://www.independent.co.uk/environment/green-living/donnachadh-mccarthy-my-carbonfree-year-767115.html">www.independent.co.uk/environment/green-living/donnachadh-mccarthy-my-carbonfree-year-767115.html</a>
66	5soql2	<a href="http://www.housebuildersupdate.co.uk/2006/12/eco-bollocks-award-windsave-ws1000.html">www.housebuildersupdate.co.uk/2006/12/eco-bollocks-award-windsave-ws1000.html</a>
66	6g2jm5	<a href="http://www.carbontrust.co.uk/technology/technologyaccelerator/small-wind">www.carbontrust.co.uk/technology/technologyaccelerator/small-wind</a>
79	5h69fm	<a href="http://www.thepoultrysite.com/articles/894/economic-approach-to-broiler-production">www.thepoultrysite.com/articles/894/economic-approach-to-broiler-production</a>
80	5pwojp	<a href="http://www.fertilizer.org/ifa/statistics/STATSIND/pkann.asp">www.fertilizer.org/ifa/statistics/STATSIND/pkann.asp</a>
80	5bj8k3	<a href="http://www.walkerscarbonfootprint.co.uk/walkers_carbon_footprint.html">www.walkerscarbonfootprint.co.uk/walkers_carbon_footprint.html</a>
80	3s576h	<a href="http://www.permatopia.com/transportation.html">www.permatopia.com/transportation.html</a>
87	6xrm5q	<a href="http://www.edf.fr/html/en/decouvertes/voyage/usine/retour-usine.html">www.edf.fr/html/en/decouvertes/voyage/usine/retour-usine.html</a>
94	yx7zm4	<a href="http://www.cancentral.com/funFacts.cfm">www.cancentral.com/funFacts.cfm</a>
94	r22oz	<a href="http://www.materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive_charts/energy-cost/NS6Chart.html">www.materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive_charts/energy-cost/NS6Chart.html</a>
94	yhrest	<a href="http://www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/106.pdf">www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/106.pdf</a>
94	y5as53	<a href="http://www.aluminum.org/Content/NavigationMenu/The%20Industry/Government%20Policy/Energy/Energy.htm">www.aluminum.org/Content/NavigationMenu/The Industry/Government Policy/Energy/Energy.htm</a>
94	y2ktgg	<a href="http://www.ssab.com/templates/Ordinary_573.aspx">www.ssab.com/templates/Ordinary_573.aspx</a>
95	6lbrab	<a href="http://www.lindenau-shipyard.de/pages/newsb.html">www.lindenau-shipyard.de/pages/newsb.html</a>
95	5ctx4k	<a href="http://www.wilhelmsen.com/SiteCollectionDocuments/WWW_Miljorapport_engelsk.pdf">www.wilhelmsen.com/SiteCollectionDocuments/WWW Miljorapport engelsk.pdf</a>
95	yqbz13	<a href="http://www.normanbaker.org.uk/downloads/Supermarkets_Report_Final_Version.doc">www.normanbaker.org.uk/downloads/Supermarkets Report Final Version.doc</a>
102	yttg7p	<a href="http://budget2007.treasury.gov.uk/page_09.htm">budget2007.treasury.gov.uk/page_09.htm</a>
102	fcqfw	<a href="http://www.mod.uk/DefenceInternet/AboutDefence/Organisation/KeyFactsAboutDefence/DefenceSpending.htm">www.mod.uk/DefenceInternet/AboutDefence/Organisation/KeyFactsAboutDefence/DefenceSpending.htm</a>
102	2e4fcs	<a href="http://press.homeoffice.gov.uk/press-releases/security-prebudget-report">press.homeoffice.gov.uk/press-releases/security-prebudget-report</a>
102	33x5kc	<a href="http://www.mod.uk/NR/rdonlyres/95BBA015-22B9-43EF-B2DC-DFF14482A590/0/gep_200708.pdf">www.mod.uk/NR/rdonlyres/95BBA015-22B9-43EF-B2DC-DFF14482A590/0/gep_200708.pdf</a>
102	35ab2c	<a href="http://www.dasa.mod.uk/natstats/ukds/2007/c1/table103.html">www.dasa.mod.uk/natstats/ukds/2007/c1/table103.html</a>
102	yg5fsj	<a href="http://siteresources.worldbank.org/DATASTATISTICS/Resources/GDP.pdf">siteresources.worldbank.org/DATASTATISTICS/Resources/GDP.pdf</a>
102	yfgjna	<a href="http://www.sipri.org/contents/milap/milex/mex_major_spenders.pdf/download">www.sipri.org/contents/milap/milex/mex_major_spenders.pdf/download</a>
102	slbae	<a href="http://www.wisconsinproject.org/Countries/Israel/plut.html">www.wisconsinproject.org/Countries/Israel/plut.html</a>
102	yh45h8	<a href="http://www.usec.com/v2001_02/HTML/Aboutusec_swu.asp">www.usec.com/v2001_02/HTML/Aboutusec swu.asp</a>
102	t2948	<a href="http://www.world-nuclear.org/info/inf28.htm">www.world-nuclear.org/info/inf28.htm</a>
102	2ywzee	<a href="http://www.globalsecurity.org/wmd/intro/u-centrifuge.htm">www.globalsecurity.org/wmd/intro/u-centrifuge.htm</a>
112	uzek2	<a href="http://www.dti.gov.uk/energy/inform/dukes/">www.dti.gov.uk/energy/inform/dukes/</a>
112	3av4s9	<a href="http://hdr.undp.org/en/statistics/">hdr.undp.org/en/statistics/</a>
112	6frj55	<a href="http://news.independent.co.uk/environment/article2086678.ece">news.independent.co.uk/environment/article2086678.ece</a>
129	5qhvcb	<a href="http://www.tramwayinfo.com/Tramframe.htm?www.tramwayinfo.com/tramways/Articles/Compair2.htm">www.tramwayinfo.com/Tramframe.htm?www.tramwayinfo.com/tramways/Articles/Compair2.htm</a>
134	4qgg8q	<a href="http://www.newsweek.com/id/112733/output/print">www.newsweek.com/id/112733/output/print</a>
135	5o5x5m	<a href="http://www.cambridgeenergy.com/archive/2007-02-08/cef08feb2007kemp.pdf">www.cambridgeenergy.com/archive/2007-02-08/cef08feb2007kemp.pdf</a>
135	5o5x5m	<a href="http://www.cambridgeenergy.com/archive/2007-02-08/cef08feb2007kemp.pdf">www.cambridgeenergy.com/archive/2007-02-08/cef08feb2007kemp.pdf</a>
135	5fbeg9	<a href="http://www.cfit.gov.uk/docs/2001/racomp/racomp/pdf/racomp.pdf">www.cfit.gov.uk/docs/2001/racomp/racomp/pdf/racomp.pdf</a>
135	679rpc	<a href="http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/environmental-report-2007.pdf">www.tfl.gov.uk/assets/downloads/environmental-report-2007.pdf</a>
136	5cp27j	<a href="http://www.eaton.com/EatonCom/ProductsServices/Hybrid/SystemsOverview/HydraulicHLA/index.htm">www.eaton.com/EatonCom/ProductsServices/Hybrid/SystemsOverview/HydraulicHLA/index.htm</a>
137	4wm2w4	<a href="http://www.citroenet.org.uk/passenger-cars/psa/berlingo/berlingo-electrique.html">www.citroenet.org.uk/passenger-cars/psa/berlingo/berlingo-electrique.html</a>
137	658ode	<a href="http://www.greencarcongress.com/2008/02/mitsubishi-moto.html">www.greencarcongress.com/2008/02/mitsubishi-moto.html</a>

- 139 czjjo corporate.honda.com/environment/fuel\_cells.aspx?id=fuel\_cells\_fcx
- 139 5a3ryx automobiles.honda.com/fcx-clarity/specifications.aspx
- 154 yok2nw www.eca.gov.uk/etl/find/ P Heatpumps/detail.htm?ProductID=9868&FromTechnology=S WaterSourcePackaged
- 154 2dtx8z www.eca.gov.uk/NR/rdonlyres/6754FE19-C697-49DA-B482-DA9426611ACF/0/ETCL2007.pdf
- 154 2fd8ar www.geothermalint.co.uk/commercial/hydronicheatpumpranges.html
- 159 5kpkj8 blogs.reuters.com/environment/2008/09/09/a-silver-bullet-or-just-greenwash/
- 159 yebuk8 www.dti.gov.uk/energy/sources/coal/index.html
- 160 yhxf8b www.worldenergy.org/wec-geis/publications/reports/ser/coal/coal.asp
- 160 e2m9n www.coal.gov.uk/resources/cleanercoaltechnologies/ucgoverview.cfm
- 173 5qntkb www.world-nuclear.org/info/reactors.htm
- 174 y3wnzr npc.sarov.ru/english/digest/132004/appendix8.html
- 174 32t5zt web.ift.uib.no/ lillestol/Energy Web/EA.html
- 174 2qr3yr documents.cern.ch/cgi-bin/setlink?base=generic&categ=public&id=cer-0210391
- 174 ynk54y doc.cern.ch/archive/electronic/other/generic/public/cer-0210391.pdf
- 174 yl7tkm minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/1999/mcs99.pdf
- 174 yju4a4 www.uic.com.au/nip67.htm
- 175 yeyr7z taylorandfrancis.metapress.com/index/W7241163J23386MG.pdf
- 175 4f2ekz www.publications.parliament.uk/pa/cm199900/cmhansrd/v000505/text/00505w05.htm
- 175 2k8y7o www.nei.org/resourcesandstats/
- 175 3pvf4j www.sustainableconcrete.org.uk/main.asp?page=210
- 175 4r7zpg csereport2005.bluescopesteel.com/
- 175 49hcnw www.ace.mmu.ac.uk/Resources/Fact Sheets/Key Stage 4/Waste/pdf/02.pdf
- 175 3kduo7 www.esrcsocietytoday.ac.uk/ESRCInfoCentre/facts/UK/index29.aspx?ComponentId=7104&Source PageId=18130
- 176 69vt8r www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti\_id=7200593
- 176 6oby22 www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti\_id=6773271&query\_id=0
- 176 63l2lp pubs.acs.org/cgi-bin/abstract.cgi/jacsat/2002/124/18/abs/ja003472m.html
- 176 wnychw www.feasta.org/documents/wells/contents.html?one/horelacy.html
- 176 shrln www.enviros.com/vrepository/
- 201 2wmuw7 news.yahoo.com/s/ap/20071231/ap\_on\_hi\_te/solar\_roads;\_ylt=AuEFouXxz16nP8MRlInTJMms0NUE
- 201 2hxf6c www.eirgrid.com/EirGridPortal/DesktopDefault.aspx?tabid=WindGenerationCurve&TreeLinkModID=1451&TreeLinkItemID=247
- 201 2l99ht www.reuters.com/article/domesticNews/idUSN2749522920080228
- 201 3x2kvw www.reuters.com/article/rbssIndustryMaterialsUtilitiesNews/idUSL057816620080305
- 202 5o2xgu www.esru.strath.ac.uk/EandEWeb sites/03-04/wind/content/storageavailable.html
- 202 2n3pmb www.dynamicdemand.co.uk/pdf/fridge\_test.pdf
- 202 2k8h4o www.int.iol.co.za/index.php?art\_id=vn20080201045821205C890035
- 202 5cp27j www.eaton.com/EatonCom/ProductsServices/Hybrid/SystemsOverview/HydraulicHLA/index.htm
- 202 2sxlj www.batteryuniversity.com/partone-3.htm
- 202 ktd7a www.vrbpower.com/docs/news/2006/20060830-PR-TapburySale-IrelandWindfarm.pdf
- 202 627ced www.vrbpower.com/docs/whitepapers/SEltechpaper1.pdf
- 202 5fasl7 www.indexmundi.com/en/commodities/minerals/vanadium/vanadium\_t7.html
- 202 2wmuw7 news.yahoo.com/s/ap/20071231/ap\_on\_hi\_te/solar\_roads;\_ylt=AuEFouXxz16nP8MRlInTJMms0NUE
- 213 5os7dy tinyurl.com/5os7dy
- 213 yrw2oo tinyurl.com/yrw2oo
- 217 6eoyhg news.bbc.co.uk/1/hi/uk/7215688.stm
- 217 yu8em5 www.foe.co.uk/resource/reports/paying\_for\_better\_transport.pdf
- 219 3x2cr4 news.bbc.co.uk/1/hi/england/london/6151176.stm
- 219 2dd4mz news.bbc.co.uk/1/low/uk\_politics/6391075.stm
- 219 7vixp www.lse.ac.uk/collections/pressAndInformationOffice/newsAndEvents/archives/2005/IDCard\_Final\_Report.htm
- 219 6x4nvu www.statoil.com/statoilcom/svg00990.nsf?opendatabase&artid=F5255D55E1E78319C1256FEF0044704B

219	39g2wz	<a href="http://www.dillinger.de/dh/referenzen/linepipe/01617/index.shtml.en">www.dillinger.de/dh/referenzen/linepipe/01617/index.shtml.en</a>
219	3ac8sj	<a href="http://www.hydro.com/ormenlange/en/">www.hydro.com/ormenlange/en/</a>
219	y7kg26	<a href="http://www.politics.co.uk/issue-briefs/economy/taxation/tobacco-duty/tobacco-duty-\$366602.htm">www.politics.co.uk/issue-briefs/economy/taxation/tobacco-duty/tobacco-duty-\$366602.htm</a>
219	r9fcf	<a href="http://en.wikipedia.org/wiki/War_on_Drugs">en.wikipedia.org/wiki/War_on_Drugs</a>
221	ysncks	<a href="http://news.bbc.co.uk/1/low/uk_politics/6205174.stm">news.bbc.co.uk/1/low/uk_politics/6205174.stm</a>
221	2vq59t	<a href="http://www.boston.com/news/globe/editorial_opinion/oped/articles/2007/08/01/the_63_billion_sham/">www.boston.com/news/globe/editorial_opinion/oped/articles/2007/08/01/the 63 billion sham/</a>
221	ym46a9	<a href="https://www.cia.gov/cia/publications/factbook/print/xx.html">https://www.cia.gov/cia/publications/factbook/print/xx.html</a>
221	99bpt	<a href="http://www.guardian.co.uk/Iraq/Story/0,2763,1681119,00.html">www.guardian.co.uk/Iraq/Story/0,2763,1681119,00.html</a>
221	2bmuod	<a href="http://www.guardian.co.uk/environment/2007/aug/13/renewableenergy.energy">www.guardian.co.uk/environment/2007/aug/13/renewableenergy.energy</a>
221	3g8nn8	<a href="http://image.guardian.co.uk/sys-files/Guardian/documents/2007/08/13/RenewablesTargetDocument.pdf">image.guardian.co.uk/sys-files/Guardian/documents/2007/08/13/RenewablesTargetDocument.pdf</a>
221	3jo7q2	<a href="http://www.viewsofscotland.org/library/docs/HoL_STC_RE_Practicalities_04.pdf">www.viewsofscotland.org/library/docs/HoL_STC_RE_Practicalities_04.pdf</a>
230	2ykfgw	<a href="http://www.guardian.co.uk/environment/2007/jan/09/travelsenvironmentalimpact.greenpolitics">www.guardian.co.uk/environment/2007/jan/09/travelsenvironmentalimpact.greenpolitics</a>
230	2nsvx2	<a href="http://www.number-10.gov.uk/output/Page10300.asp">www.number-10.gov.uk/output/Page10300.asp</a>
230	yxq5xk	<a href="http://commentisfree.guardian.co.uk/george_monbiot/2007/01/an_open_letter_to_the_prime_mi.html">commentisfree.guardian.co.uk/george_monbiot/2007/01/an open letter to the prime mi.html</a>
238	3doaeq	<a href="http://web.archive.org/web/20040401165322/members.cox.net/weller43/sunshine.htm">web.archive.org/web/20040401165322/members.cox.net/weller43/sunshine.htm</a>
239	3lcw9c	<a href="http://knol.google.com/k/-/15x31uzlqeo5n/1">knol.google.com/k/-/15x31uzlqeo5n/1</a>
248	voxbz	<a href="http://news.bbc.co.uk/1/low/business/6247371.stm">news.bbc.co.uk/1/low/business/6247371.stm</a>
248	yofchc	<a href="http://news.bbc.co.uk/1/low/uk/7053903.stm">news.bbc.co.uk/1/low/uk/7053903.stm</a>
248	3e28ed	<a href="http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/118.htm">www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/118.htm</a>
258	2bhu3E	<a href="http://www.lafn.org/dave/trans/energy/rail_vs_auto_EE.html">www.lafn.org/dave/trans/energy/rail vs auto EE.html</a>
262	6by8x	<a href="http://encarta.msn.com/encyclopedia/761553622/Internal-Combustion_Engine.html">encarta.msn.com/encyclopedia/761553622/Internal-Combustion_Engine.html</a>
262	348whs	<a href="http://www.cleangreencar.co.nz/page/prius-petrol-engine">www.cleangreencar.co.nz/page/prius-petrol-engine</a>
266	ydt7uk	<a href="http://www.nrel.gov/business_opportunities/pdfs/31235sow.pdf">www.nrel.gov/business_opportunities/pdfs/31235sow.pdf</a>
266	yaooz	<a href="http://www.windpower.org/en/tour/wres/shear.htm">www.windpower.org/en/tour/wres/shear.htm</a>
267	6o86ec	<a href="http://www.londonarray.com/london-array-project-introduction/offshore/">www.londonarray.com/london-array-project-introduction/offshore/</a>
268	6bkbvn	<a href="http://www.timesonline.co.uk/tol/news/world/asia/article687157.ece">www.timesonline.co.uk/tol/news/world/asia/article687157.ece</a>
268	yekdaa	<a href="http://www.windpower.org/en/stat/betzpro.htm">www.windpower.org/en/stat/betzpro.htm</a>
268	ymfbsn	<a href="http://www.windpower.org/en/tour/wres/powdensi.htm">www.windpower.org/en/tour/wres/powdensi.htm</a>
268	ypvbvd	<a href="http://www.ref.org.uk/images/pdfs/UK_Wind_Phase_1_web.pdf">www.ref.org.uk/images/pdfs/UK_Wind_Phase_1_web.pdf</a>
268	wbd8o	<a href="http://www.ref.org.uk/energydata.php">www.ref.org.uk/energydata.php</a>
277	33ptcg	<a href="http://www.stevfossett.com/html/main_pages/records.html">www.stevfossett.com/html/main_pages/records.html</a>
278	6r32hf	<a href="http://www.theaustralian.news.com.au/story/0,25197,23003236-23349,00.html">www.theaustralian.news.com.au/story/0,25197,23003236-23349,00.html</a>
282	2af5gw	<a href="http://www.airliners.net/info/stats.main?id=100">www.airliners.net/info/stats.main?id=100</a>
282	32judd	<a href="http://www.wildanimalsonline.com/birds/wanderingalbatross.php">www.wildanimalsonline.com/birds/wanderingalbatross.php</a>
282	2qbquv	<a href="http://news.bbc.co.uk/1/low/sci/tech/6988720.stm">news.bbc.co.uk/1/low/sci/tech/6988720.stm</a>
282	5h6xph	<a href="http://www.goldcoastyachts.com/fastcat.htm">www.goldcoastyachts.com/fastcat.htm</a>
282	4p3yco	<a href="http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ship/row/rus/903.htm">www.fas.org/man/dod-101/sys/ship/row/rus/903.htm</a>
288	3ap7lc	<a href="http://www.biocap.ca/files/Ont_bioenergy_OPA_Feb23_final.pdf">www.biocap.ca/files/Ont_bioenergy_OPA_Feb23_final.pdf</a>
288	4hamks	<a href="http://www.methanetomarkets.org/resources/landfills/docs/uk_If_profile.pdf">www.methanetomarkets.org/resources/landfills/docs/uk_If_profile.pdf</a>
296	65h3cb	<a href="http://www.dorset-technical-committee.org.uk/reports/U-values-of-elements-Sept-2006.pdf">www.dorset-technical-committee.org.uk/reports/U-values-of-elements-Sept-2006.pdf</a>
298	5dhups	<a href="http://www.arct.cam.ac.uk/UCPB/Place.aspx?rid=943658&amp;p=6&amp;ix=8&amp;pid=1&amp;prcid=27&amp;ppid=201">www.arct.cam.ac.uk/UCPB/Place.aspx?rid=943658&amp;p=6&amp;ix=8&amp;pid=1&amp;prcid=27&amp;ppid=201</a>
321	2bqapk	<a href="http://www.phys.murdoch.edu.au/rise/reslab/resfiles/tidal/text.html">www.phys.murdoch.edu.au/rise/reslab/resfiles/tidal/text.html</a>
322	r22oz	<a href="http://www.materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive_charts/energy-cost/NS6Chart.html">www.materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive_charts/energy-cost/NS6Chart.html</a>
325	3kmcks	<a href="http://www.yourhome.gov.au/technical/index.html">www.yourhome.gov.au/technical/index.html</a>
324	3kmcks	<a href="http://www.yourhome.gov.au/technical/index.html">www.yourhome.gov.au/technical/index.html</a>
333	3b7zdf	<a href="http://www.communities.gov.uk/publications/planningandbuilding/generalizedlanduse">www.communities.gov.uk/publications/planningandbuilding/generalizedlanduse</a>
336	3av4s9	<a href="http://hdr.undp.org/en/statistics/">hdr.undp.org/en/statistics/</a>
344	f754	<a href="http://www.archive.org/web/web.php">www.archive.org/web/web.php</a>

# Bibliografia

- Aitchison, E. (1996). Methane generation from UK landfill sites and its use as an energy resource. *Energy Conversion and Management*, 37(6/8):1111–1116. doi: doi:10.1016/0196-8904(95)00306-1 www.ingentaconnect.com/content/els/01968904/1996/00000037/0000006/art00306.
- Amos, W. A. (2004). Updated cost analysis of photobiological hydrogen production from *Chlamydomonas reinhardtii* green algae – milestone completion report. www.nrel.gov/docs/fy04osti/35593.pdf.
- Anderson, K., Bows, A., Mander, S., Shackley, S., Agnolucci, P., and Ekins, P. (2006). Decarbonising modern societies: Integrated scenarios process and workshops. Technical Report 48, Tyndall Centre. www.tyndall.ac.uk/research/theme2/final-reports/t3-24.pdf.
- Archer, M. D. and Barber, J. (2004). Photosynthesis and photoconversion. In M. D. Archer and J. Barber, editors, *Molecular to Global Photosynthesis*. World Scientific. ISBN 978-1-86094-256-3. www.worldscientific.com/lifesci/p218.html.
- Ashworth, W. and Pegg, M. (1986). *The history of the British coal industry. Vol. 5, 1946–1982: the nationalized industry*. Clarendon, Oxford. ISBN 0198282958.
- Asplund, G. (2004). Sustainable energy systems with HVDC transmission. In *Power Engineering Society General Meeting*, volume 2, pages 2299–2303. IEEE. doi: 10.1109/PES.2004.1373296. www.trec-uk.org.uk/reports/HVDC\_Gunnar\_Asplund\_ABB.pdf.
- Asselbergs, B., Bokhorst, J., Harms, R., van Hemert, J., van der Noort, L., ten Velden, C., Vervuurt, R., Wijnen, L., and van Zon, L. (2006). Size does matter – the possibilities of cultivating *Jatropha curcas* for biofuel production in Cambodia. environmental.scum.org/biofuel/jatropha/.
- Baer, P. and Mastrandrea, M. (2006). High stakes: Designing emissions pathways to reduce the risk of dangerous climate change. www.ippr.org/publicationsandreports/.
- Bahrman, M. P. and Johnson, B. K. (2007). The ABCs of HVDC transmission technology. *IEEE Power and Energy Magazine*, 5(2).
- Baines, J. A., Newman, V. G., Hanna, I. W., Douglas, T. H., Carlyle, W. J., Jones, I. L., Eaton, D. M., and Zeronian, G. (1983). Dinorwig pumped storage scheme. *Institution of Civil Engineers Proc. pt. 1*, 74:635–718.
- Baines, J. A., Newman, V. G., Hanna, I. W., Douglas, T. H., Carlyle, W. J., Jones, I. L., Eaton, D. M., and Zeronian, G. (1986). Dinorwig pumped storage scheme. *Institution of Civil Engineers Proc. pt. 1*, 80:493–536.
- Baker, C., Walbancke, J., and Leach, P. (2006). Tidal lagoon power generation scheme in Swansea Bay. www.dti.gov.uk/files/file30617.pdf. A report on behalf of the Dept. of Trade and Industry and the Welsh Development Agency.
- Bayer Crop Science. (2003). Potential of GM winter oilseed rape to reduce the environmental impact of farming whilst improving farmer incomes. tinyurl.com/5j99df.
- Bickley, D. T. and Ryrie, S. C. (1982). A two-basin tidal power scheme for the Severn estuary. In *Conf. on new approaches to tidal power*.
- Binder, M., Faltenbacher, M., Kentzler, M., and Schuckert, M. (2006). Clean urban transport for Europe. deliverable D8 final report. www.fuel-cell-bus-club.com/.
- Black and Veatch. (2005). The UK tidal stream resource and tidal stream technology. report prepared for the Karbon Trust Marine Energy Challenge. www.carbontrust.co.uk/technology/technologyaccelerator/tidal-stream.htm.
- Blunden, L. S. and Bahaj, A. S. (2007). Tidal energy resource assessment for tidal stream generators. *Proc. IMechE*, 221 Part A: 137–146.
- Bonan, G. B. (2002). *Ecological Climatology: Concepts and Applications*. Cambridge Univ. Press. ISBN 9780521804769.
- Boyer, J. S. (1982). Plant productivity and environment. *Science*, 218 (4571): 443–448. doi: 10.1126/science.218.4571.443.
- Braslow, A. L. (1999). *A history of suction-type laminar-flow control with emphasis on flight research*. Number 13 in Monographs in Aerospace History. NASA. www.nasa.gov/centers/dryden/pdf/88792mainLaminar.pdf.
- Broecker, W. S. and Kunzig, R. (2008). *Fixing Climate: What Past Climate Changes Reveal About the Current Threat—and How to Counter It*. Hill and Wang. ISBN 0809045028.
- Burnham, A., Wang, M., and Wu, Y. (2007). Development and applications of GREET 2.7 — the transportation vehicle-cycle mode. www.transportation.anl.gov/software/GREET/publications.html.
- Carbon Trust. (2007). Micro-CHP accelerator – interim report. Technical Report CTC726. www.carbontrust.co.uk/publications/publicationdetail.htm?productid=CTC726.
- Carlsson, L. (2002). “Classical” HVDC: still continuing to evolve. *Modern Power Systems*.
- Cartwright, D. E., Edden, A. C., Spencer, R., and Vassie, J. M. (1980). The tides of the northeast Atlantic Ocean. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. A*, 298(1436):87–139.
- Catling, D. T. (1966). Principles and practice of train performance applied to London Transport’s Victoria line. Paper 8, Convention on Guided Land Transport (London, 27–28 October 1966).
- Charlier, R. H. (2003a). Sustainable co-generation from the tides: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 7:187213.
- Charlier, R. H. (2003b). A “sleeping” awakes: tidal current power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 7:515529.
- Charney, J. G., Arakawa, A., Baker, D. J., Bolin, B., Dickinson, R. E., Goody, R. M., Leith, C. E., Stommel, H. M., and Wunsch, C. I. (1979). Carbon dioxide and climate: A scientific assessment. www.nap.edu/catalog.php?recordid=12181.
- Chisholm, S. W., Falkowski, P. G., and Cullen, J. J. (2001). Discrediting ocean fertilisation. *Science*, 294(5541):309–310.
- Chitrakar, R., Kanoh, H., Miyai, Y., and Ooi, K. (2001). Recovery of lithium from seawater using manganese oxide adsorbent (H1.6Mn1.6O4) derived from Li1.6Mn1.6O4. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 40(9):2054–2058. pubs.acs.org/cgi-bin/abstract.cgi/iecred/2001/40/09/abs/ie000911h.html.

- Church, R. A., Hall, A., and Kanefsky, J. (1986). *The history of the British coal industry. Vol. 3, 1830–1913: Victorian pre-eminence*. Clarendon, Oxford. ISBN 0198282842.
- Cohen, B. L. (1983). Breeder reactors: A renewable energy source. *American Journal of Physics*, 51(1):75–76. [sustainablenuclear.org/PADs/pad-11983cohen.pdf](http://sustainablenuclear.org/PADs/pad-11983cohen.pdf).
- Coley, D. (2001). Emission factors for walking and cycling. [www.centres.ex.ac.uk/cee/publications/reports/91.html](http://www.centres.ex.ac.uk/cee/publications/reports/91.html).
- Committee on Radioactive Waste Management. (2006). Managing our radioactive waste safely. [www.corwm.org.uk/Pages/Current%20Publications/700%20-%20CoRWM%20July%202006%20Recommendations%20to%20Government.pdf](http://www.corwm.org.uk/Pages/Current%20Publications/700%20-%20CoRWM%20July%202006%20Recommendations%20to%20Government.pdf).
- CUTE. (2006). Clean urban transport for Europe. Detailed summary of achievements. [www.fuel-cell-bus-club.com/](http://www.fuel-cell-bus-club.com/).
- David, J. and Herzog, H. (2000). The cost of carbon capture/sequestration. [mit.edu/pdf/David and Herzog.pdf](http://mit.edu/pdf/David%20and%20Herzog.pdf). presented at the Fifth International Conf. on Greenhouse Gas Control Technologies, Cairns, Australia, August 13 - August 16 (2000).
- Davidson, E. A. and Janssens, I. A. (2006). Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, 440:165–173. doi:10.1038/nature04514. [www.nature.com/nature/journal/v440/n7081/full/nature04514.html](http://www.nature.com/nature/journal/v440/n7081/full/nature04514.html).
- Deffeyes, K. S. and MacGregor, I. D. (1980). World uranium resources. *Scientific American*, pages 66–76.
- Denholm, P., Kulcinski, G. L., and Holloway, T. (2005). Emissions and energy efficiency assessment of baseload wind energy systems. *Environ Sci Technol*, 39(6):1903–1911. ISSN 0013-936X. [www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=pubmed&dopt=Abstract&list\\_uids=15819254](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=pubmed&dopt=Abstract&list_uids=15819254).
- Denison, R. A. (1997). Life-cycle assessment for paper products. In E. Elwood, J. Antle, G. Eyring, and P. Schulze, editors, *Wood in Our Future: The Role of Life-Cycle Analysis: Proc. a Symposium*. National Academy Press. ISBN 0309057450. [books.nap.edu/openbook.php?record\\_id=5734](http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=5734).
- Dennis, C. (2006). Solar energy: Radiation nation. *Nature*, 443:23–24. doi:10.1038/443023a.
- Dept. for Transport. (2007). Transport statistics Great Britain. [www.dft.gov.uk/pgr/statistics/datatablespublications/tsgb/](http://www.dft.gov.uk/pgr/statistics/datatablespublications/tsgb/).
- Dept. of Defense. (2008). More fight – less fuel. Report of the Defense Science Board Task Force on DoD Energy Strategy.
- Dept. of Trade and Industry. (2004). DTI Atlas of UK marine renewable energy resources. [www.offshore-sea.org.uk/](http://www.offshore-sea.org.uk/).
- Dept. of Trade and Industry. (2002a). Energy consumption in the United Kingdom. [www.berr.gov.uk/files/file11250.pdf](http://www.berr.gov.uk/files/file11250.pdf).
- Dept. of Trade and Industry. (2002b). Future offshore. [www.berr.gov.uk/files/file22791.pdf](http://www.berr.gov.uk/files/file22791.pdf).
- Dept. of Trade and Industry. (2007). Impact of banding the renewables obligation – costs of electricity production. [www.berr.gov.uk/files/file39038.pdf](http://www.berr.gov.uk/files/file39038.pdf).
- Dessler, A. E. and Parson, E. A. (2006). The Science and Politics of Global Climate Change – A Guide to the Debate. Cambridge Univ Press, Cambridge. ISBN 9780521539418.
- di Prampero, P. E., Cortili, G., Mognoni, P., and Saibene, F. (1979). Equation of motion of a cyclist. *J. Appl. Physiology*, 47:201–206. [jap.physiology.org/cgi/content/abstrakt/47/1/201](http://jap.physiology.org/cgi/content/abstrakt/47/1/201).
- Diamond, J. (2004). *Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed*. Penguin.
- E4tech. (2007). A review of the UK innovation system for low karbon road transport technologies. [www.dft.gov.uk/pgr/scienceresearch/technology/ictis/e4techlcpdf](http://www.dft.gov.uk/pgr/scienceresearch/technology/ictis/e4techlcpdf).
- Eckhart, D. (1995). Nuclear fuels for low-beta fusion reactors: Lithium resources revisited. *Journal of Fusion Energy*, 14(4):329–341. ISSN 0164-0313 (Print) 1572-9591 (Online). doi: 10.1007/BF02214511. [www.springerlink.com/content/35470543r8t2gk1/](http://www.springerlink.com/content/35470543r8t2gk1/).
- Eddington, R. (2006). Transport's role in sustaining the UK's productivity and competitiveness.
- Eden, R. and Bending, R. (1985). Gas/elektricity competition in the UK. Technical Report 85/6, Cambridge Energy Research Group, Cambridge.
- Elliott, D. L., Wendell, L. L., and Gower, G. L. (1991). An assessment of windy land area and wind energy potential in the contiguous United States. [www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/5252760-ccuOpk/](http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/5252760-ccuOpk/).
- Energy for Sustainable Development Ltd. (2003). English partnerships sustainable energy review. [www.englishpartnerships.co.uk](http://www.englishpartnerships.co.uk).
- Erdincler, A. U. and Vesilind, P. A. (1993). Energy recovery from mixed waste paper. *Waste Management & Research*, 11(6):507–513. doi:10.1177/0734242X9301100605.
- Etheridge, D., Steele, L., Langenfelds, R., Francey, R., Barnola, J.-M., and Morgan, V. (1998). Historical CO<sub>2</sub> records from the Law Dome DE08, DE08-2, and DSS ice cores. In *Trends: A Kompendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Dept. of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA. [cdiac.ornl.gov/trends/co2/lawdome.html](http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/lawdome.html).
- European Commission. (2007). Concentrating solar power – from research to implementation. [www.solarpaces.org/Library/library.htm](http://www.solarpaces.org/Library/library.htm).
- Evans, D. G. (2007). Liquid transport biofuels – technology status report. [www.nnfcc.co.uk/](http://www.nnfcc.co.uk/).
- Evans, R. K. (2008). An abundance of lithium. [www.worldlithium.com](http://www.worldlithium.com).
- Faber, T. E. (1995). *Fluid dynamics for physicists*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Faiman, D., Raviv, D., and Rosenstreich, R. (2007). Using solar energy to arrest the increasing rate of fossil-fuel consumption: The southwestern states of the USA as case studies. *Energy Policy*, 35:567576.
- Fies, B., Peterson, T., and Powicki, C. (2007). Solar photovoltaics – expanding electric generation options. [mydocs.epri.com/docs/SEIG/1016279/Photovoltaic White Paper 1207.pdf](http://mydocs.epri.com/docs/SEIG/1016279/Photovoltaic%20White%20Paper%201207.pdf).
- Fisher, K., Wall'en, E., Laenen, P. P., and Collins, M. (2006). Battery waste management life cycle assessment. [www.defra.gov.uk/environment/waste/topics/batteries/pdf/erm-1careport0610.pdf](http://www.defra.gov.uk/environment/waste/topics/batteries/pdf/erm-1careport0610.pdf).
- Flather, R. A. (1976). A tidal model of the north-west European continental shelf. *Memoires Soci'et'e Royale des Sciences de Li'ge*, 10(6):141–164.

- Flinn, M. W. and Stoker, D. (1984). The history of the British coal industry. Vol. 2, 1700–1830: the Industrial Revolution. Clarendon, Oxford. ISBN 0198282834.
- Francis, G., Edinger, R., and Becker, K. (2005). A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socioeconomic development in degraded areas in India: Need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. *Natural Resources Forum*, 29(1):12–24. doi: 10.1111/j.1477-8947.2005.00109.x.
- Franklin, J. (2007). Principles of cycle planning. [www.cyclenetwork.org.uk/papers/071119principles.pdf](http://www.cyclenetwork.org.uk/papers/071119principles.pdf).
- Freeston, D. H. (1996). Direct uses of geothermal energy 1995. [geoheat.oit.edu/bulletin/bull17-1/art1.pdf](http://geoheat.oit.edu/bulletin/bull17-1/art1.pdf).
- Gabrielli, G. and von K'arm'an, T. (1950). What price speed? *Mechanical Engineering*, 72(10).
- Garrett, C. and Cummins, P. (2005). The power potential of tidal currents in channels. *Proc. Royal Society A*, 461(2060):2563–2572. dx.doi.org/10.1098/rspa.2005.1494.
- Garrett, C. and Cummins, P. (2007). The efficiency of a turbine in a tidal channel. *J Fluid Mech*, 588:243–251. [journals.cambridge.org/production/action/cjoGetFulltext?fulltextid=1346064](http://journals.cambridge.org/production/action/cjoGetFulltext?fulltextid=1346064).
- Gellings, C. W. and Parmenter, K. E. (2004). Energy efficiency in fertilizer production and use. In C. W. Gellings and K. Blok, editors, *Efficient Use and Conservation of Energy*, Encyclopedia of Life Support Systems. Eolss Publishers, Oxford, UK. [www.eolss.net](http://www.eolss.net).
- German Aerospace Center (DLR) Institute of Technical Thermodynamics Section Systems Analysis and Technology Assessment. (2006). Concentrating solar power for the Mediterranean region. [www.dlr.de/tt/med-csp](http://www.dlr.de/tt/med-csp). Study commissioned by Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Germany.
- Goodstein, D. (2004). *Out of Gas*. W. W. Norton and Company, New York. ISBN 0393058573.
- Green, J. E. (2006). Civil aviation and the environment – the next frontier for the aerodynamicist. *Aeronautical Journal*, 110(1110):469–486.
- Grubb, M. and Newbery, D. (2008). Pricing carbon for electricity generation: national and international dimensions. In M. Grubb, T. Jamasb, and M. G. Pollitt, editors, *Delivering a Low Carbon Electricity System: Technologies, Economics and Policy*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Gummer, J., Goldsmith, Z., Peck, J., Eggar, T., Hurd, N., Miraj, A., Norris, S., Northcote, B., Oliver, T., Strong, D., Twitchen, K., and Wilkie, K. (2007). *Blueprint for a green economy*. [www.qualityoflifechallenge.com](http://www.qualityoflifechallenge.com).
- Halkema, J. A. (2006). Wind energy: Facts and fiction. [www.countryguardian.net/halkema-windenergyfactfiction.pdf](http://www.countryguardian.net/halkema-windenergyfactfiction.pdf).
- Hammond, G. and Jones, C. (2006). Inventory of carbon & energy (ICE). [www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied/](http://www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied/). version 1.5a Beta.
- Hammons, T. J. (1993). Tidal power. *Proc. IEEE*, 8(3):419–433.
- Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., Russell, G., Lea, D., and Siddall, M. (2007). Climate change and trace gases. *Phil. Trans. Royal. Soc. A*, 365:1925–1954. doi:10.1098/rsta.2007.2052. [pubs.giss.nasa.gov/abstracts/2007/Hansen etal 2.html](http://pubs.giss.nasa.gov/abstracts/2007/Hansen%20et%20al%202.html).
- Hastings, R. and Wall, M. (2006). *Sustainable Solar Housing: Strategie And Solutions*. Earthscan. ISBN 1844073254.
- Hatcher, J. (1993). *The History of the British Coal Industry: Towards the Age of Coal: Before 1700 Vol 1*. Clarendon Press.
- Heaton, E., Voigt, T., and Long, S. (2004). A quantitative review comparing the yields of two candidate C4 perennial biomass crops in relation to nitrogen, temperature, and water. *Biomass and Bioenergy*, 27:21–30.
- Helm, D., Smale, R., and Phillips, J. (2007). Too good to be true? The UK's climate change record. [www.dieterhelm.co.uk/publications/Carbon record 2007.pdf](http://www.dieterhelm.co.uk/publications/Carbon%20record%202007.pdf).
- Helweg-Larsen, T. and Bull, J. (2007). Zero carbon Britain – an alternative energy strategy. [zerocarbonbritain.com/](http://zerocarbonbritain.com/).
- Herring, J. (2004). Uranium and thorium resource assessment. In C. J. Cleveland, editor, *Encyclopedia of Energy*. Boston Univ., Boston, USA. ISBN 0-12-176480-X.
- Herzog, H. (2003). Assessing the feasibility of capturing CO<sub>2</sub> from the air. [web.mit.edu/coal/working\\_folder/pdfs/Air CaptureFeasibility.pdf](http://web.mit.edu/coal/working_folder/pdfs/Air%20CaptureFeasibility.pdf).
- Herzog, H. (2001). What future for carbon capture and sequestration? *Environmental Science and Technology*, 35:148A–153A. [sequestration.mit.edu/](http://sequestration.mit.edu/).
- Hird, V., Emerson, C., Noble, E., Longfield, J., Williams, V., Goetz, D., Hoskins, R., Paxton, A., and Dupee, G. (1999). Still on the road to ruin? An assessment of the debate over the unnecessary transport of food, five years on from the food miles report.
- Hodgson, P. (1999). *Nuclear Power, Energy and the Environment*. Imperial College Press.
- Hopfield, J. J. and Gollub, J. (1978). Introduction to solar energy. [www.inference.phy.cam.ac.uk/sustainable/solar/HopfieldGollub78/scan.html](http://www.inference.phy.cam.ac.uk/sustainable/solar/HopfieldGollub78/scan.html).
- Horie, H., Tanjo, Y., Miyamoto, T., and Koga, Y. (1997). Development of a lithium-ion battery pack system for EV. *JSAE Review*, 18 (3):295–300.
- HPTCJ. (2007). Heat pumps: Long awaited way out of the global warming. [www.hptcj.or.jp/about\\_e/contribution/index.html](http://www.hptcj.or.jp/about_e/contribution/index.html).
- Indermuhle, A., Stocker, T., Joos, F., Fischer, H., Smith, H., Wahlen, M., Deck, B., Mastroianni, D., Tschumi, J., Blunier, T., Meyer, R., and Stauffer, B. (1999). Holocene carbon-cycle dynamics based on CO<sub>2</sub> trapped in ice at Taylor Dome, Antarctica. *Nature*, 398:121–126.
- International Energy Agency. (2001). Things that go blip in the night – standby power and how to limit it. [www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/blipinthenight01.pdf](http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/blipinthenight01.pdf).
- Jackson, P. and Kershaw, S. (1996). Reducing long term methane emissions resulting from coal mining. *Energy Conversion and Management*, 37(6-8):801–806. doi: 10.1016/0196-8904(95)00259-6.
- Jevons, W. S. (1866). *The Coal Question; An Inquiry concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of our Coal-mines*. Macmillan and Co., London, second edition. [oll.libertyfund.org/](http://oll.libertyfund.org/).
- Jones, I. S. F. (2008). The production of additional marine protein by nitrogen nourishment. [www.oceannourishment.com/files/Jc08.pdf](http://www.oceannourishment.com/files/Jc08.pdf).
- Jones, P. M. S. (1984). Statistics and nuclear energy. *The Statistician*, 33(1):91–102. [www.jstor.org/pss/2987717](http://www.jstor.org/pss/2987717).

- Judd, B., Harrison, D. P., and Jones, I. S. F. (2008). Engineering ocean nourishment. In *World Congress on Engineering WCE 2008*, pages 1315–1319. IAENG. ISBN 978-988-98671-9-5.
- Juniper, T. (2007). *How Many Lightbulbs does it take To Change a Planet?* Quercus, London.
- Kammen, D. M. and Hassenzahl, D. M. (1999). *Should We Risk It? Exploring Environmental, Health, and Technological Problem Solving*. Princeton Univ. Press.
- Kaneko, T., Shimada, M., Kujiraoka, S., and Kojima, T. (2004). Easy maintenance and environmentally-friendly train traction system. *Hitachi Review*, 53(1):15–19. [www.hitachi.com/ICSFiles/afieldfile/2004/05/25/r2004\\_01\\_103.pdf](http://www.hitachi.com/ICSFiles/afieldfile/2004/05/25/r2004_01_103.pdf).
- Keeling, C. and Whorf, T. (2005). Atmospheric CO<sub>2</sub> records from sites in the SIO air sampling network. In *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Dept. of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA.
- Keith, D. W., Ha-Duong, M., and Stolaroff, J. K. (2005). Climate strategy with CO<sub>2</sub> capture from the air. *Climatic Change*. doi: 10.1007/s10584-005-9026-x. [www.ucalgary.ca/~keith/papers/51.Keith.2005.ClimateStratWithAirCapture.e.pdf](http://www.ucalgary.ca/~keith/papers/51.Keith.2005.ClimateStratWithAirCapture.e.pdf).
- King, J. (2007). The King review of low-carbon cars. Part I: the potential for CO<sub>2</sub> reduction. [hm-treasury.gov.uk/king](http://hm-treasury.gov.uk/king).
- King, J. (2008). The King review of low-carbon cars. Part II: recommendations for action. [hm-treasury.gov.uk/king](http://hm-treasury.gov.uk/king).
- Koomey, J. G. (2007). Estimating total power consumption by servers in the US and the world. [blogs.business2.com/greenwombat/files/server-powerusecomplete-v3.pdf](http://blogs.business2.com/greenwombat/files/server-powerusecomplete-v3.pdf).
- Kowalik, Z. (2004). Tide distribution and tapping into tidal energy. *Oceanologia*, 46(3):291–331.
- Kuehr, R. (2003). *Computers and the Environment: Understanding and Managing their Impacts (Eco-Efficiency in Industry and Science)*. Springer. ISBN 1402016808.
- Lackner, K. S., Grimes, P., and Ziock, H.-J. (2001). Capturing carbon dioxide from air. [www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbonseq/7b1.pdf](http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbonseq/7b1.pdf). Presented at First National Conf. on Carbon Sequestration, Washington DC.
- Lawson, B. (1996). *Building materials, energy and the environment. Towards ecologically sustainable development*.
- Layzell, D. B., Stephen, J., and Wood, S. M. (2006). Exploring the potential for biomass power in Ontario. [www.biocap.ca/files/Ont\\_bioenergy\\_OPA\\_Feb23\\_final.pdf](http://www.biocap.ca/files/Ont_bioenergy_OPA_Feb23_final.pdf).
- Le Quére, C., Rödenbeck, C., Buitenhuis, E., Conway, T. J., Langenfelds, R., Gomez, A., Labuschagne, C., Ramonet, M., Nakazawa, T., Metz, N., Gillett, N., and Heimann, M. (2007). Saturation of the southern ocean CO<sub>2</sub> sink due to recent climate change. *Science*, 316:1735–1738. doi: 10.1126/science.1136188. [lgmacweb.env.uea.ac.uk/e415/publications.html](http://lgmacweb.env.uea.ac.uk/e415/publications.html).
- Lemofouet-Gatsi, S. (2006). Investigation and optimisation of hybrid electricity storage systems based on compressed air and supercapacitors. PhD thesis, EPFL. [library.epfl.ch/theses/?nr=3628](http://library.epfl.ch/theses/?nr=3628).
- Lemofouet-Gatsi, S. and Rufer, A. (2005). Hybrid energy système based on compressed air and supercapacitors with maximum efficiency point tracking. [leiwwww.epfl.ch/publications/lemofouet\\_rufer\\_epe\\_05.pdf](http://leiwwww.epfl.ch/publications/lemofouet_rufer_epe_05.pdf).
- Lomborg, B. (2001). *The skeptical environmentalist: measuring the real state of the world*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. ISBN 0-521-80447-7.
- Mabee, W. E., Saddler, J. N., Nielsen, C., Henrik, L., and Steen Jensen, E. (2006). Renewable-based fuels for transport. [www.risoe.dk/rispubl/Energy-report5/ris-r-1557\\_49-52.pdf](http://www.risoe.dk/rispubl/Energy-report5/ris-r-1557_49-52.pdf). Riso Energy Report 5.
- MacDonald, J. M. (2008). The economic organization of US broiler production. [www.ers.usda.gov/Publications/EIB38/EIB38.pdf](http://www.ers.usda.gov/Publications/EIB38/EIB38.pdf). Economic Information Bulletin No. 38. Economic Research Service, US Dept. of Agriculture.
- MacDonald, P., Stedman, A., and Symons, G. (1992). The UK geothermal hot dry rock R&D programme. In *Seventeenth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*.
- MacKay, D. J. C. (2007a). Enhancing electrical supply by pumped storage in tidal lagoons. [www.inference.phy.cam.ac.uk/mackay/abstracts/Lagoons.html](http://www.inference.phy.cam.ac.uk/mackay/abstracts/Lagoons.html).
- MacKay, D. J. C. (2007b). Under-estimation of the UK tidal resource. [www.inference.phy.cam.ac.uk/mackay/abstracts/TideEstimate.html](http://www.inference.phy.cam.ac.uk/mackay/abstracts/TideEstimate.html).
- MacLeay, I., Harris, K., and Michaels, C. (2007). Digest of United Kingdom energy statistics 2007. [www.berr.gov.uk](http://www.berr.gov.uk).
- Malanima, P. (2006). Energy crisis and growth 1650–1850: the European deviation in a comparative perspective. *Journal of Global History*, 1:101–121. doi: 10.1017/S1740022806000064.
- Marland, G., Boden, T., and Andres, R. J. (2007). Global, regional, and national CO<sub>2</sub> emissions. In *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Dept. of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA. [cdiac.ornl.gov/trends/emis/tre\\_glob.htm](http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/tre_glob.htm).
- Massachusetts Institute of Technology. (2006). The future of geothermal energy. [geothermal.inel.gov/publications/future\\_of\\_geothermal\\_energy.pdf](http://geothermal.inel.gov/publications/future_of_geothermal_energy.pdf).
- McBride, J. P., Moore, R. E., Witherspoon, J. P., and Blanco, R. E. (1978). Radiological impact of airborne effluents of coal and nuclear plants. *Science*, 202(4372): 1045–1050. doi: 10.1126/science.202.4372.1045.
- Meadows, M. (1996). Estimating landfill methane emissions. *Energy Conversion and Management*, 37(6-8):1099–1104. doi: 10.1016/0196-8904(95)00304-5.
- B. Metz, O. Davidson, H. de Coninck, M. Loos, and L. Meyer, editors. (2005). *Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. ISBN 978-0-521-68551-1. [www.ipcc.ch/ipccreports/srccs.htm](http://www.ipcc.ch/ipccreports/srccs.htm).
- Mills, D. R. and Li `evre, P. L. (2004). Competitive solar electricity. [www.ausra.com/pdfs/Paper\\_CompetitiveSolarElectricity.pdf](http://www.ausra.com/pdfs/Paper_CompetitiveSolarElectricity.pdf).
- Mills, D. R. and Morgan, R. G. (2008). Solar thermal elektricity as the primary replacement for coal and oil in US generation and transportation. [www.ausra.com/technology/reports.html](http://www.ausra.com/technology/reports.html).
- Mills, D. R. and Morrison, G. L. (2000). Compact Linear Fresnel Reflector solar thermal powerplants. *Solar Energy*, 68(3):263–283. doi: 10.1016/S0038-092X(99)00068-7.
- Mills, D. R., Le Li `evre, P., and Morrison, G. L. (2004). First results from Compact Linear Fresnel Reflector installation. [solarheat-power.veritel.com.au/MILLS\\_CLFR\\_ANZSES\\_FINAL.pdf](http://solarheat-power.veritel.com.au/MILLS_CLFR_ANZSES_FINAL.pdf).

- Mindl, P. (2003). Hybrid drive super-capacitor energy storage calculation. [www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publika-ce/2003/Supcap6\\_EDPE.pdf](http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publika-ce/2003/Supcap6_EDPE.pdf).
- Mollison, D. (1986). Wave climate and the wave power resource. In D. Evans and A. de O. Falcao, editors, *Hydrodynamic of Ocean Wave-Energy Utilization*, pages 133–156, Berlin. Springer. [www.ma.hw.ac.uk/~denis/wave.html](http://www.ma.hw.ac.uk/~denis/wave.html).
- Mollison, D. (1991). The UK wave power resource. In *Wave Energy (Institution of Mechanical Engineers – Seminar)*, pages 1–6. John Wiley & Sons. [www.ma.hw.ac.uk/~denis/wave.html](http://www.ma.hw.ac.uk/~denis/wave.html).
- Mollison, D., Buneman, O. P., and Salter, S. H. (1976). Wave power availability in the NE Atlantic. *Nature*, 263(5574):223–226. [www.ma.hw.ac.uk/~denis/wave.html](http://www.ma.hw.ac.uk/~denis/wave.html).
- Monteith, J. L. (1977). Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philos. Trans. R. Soc. London*, 281:277–294.
- National Bureau of Economic Research. (2001). NBER macrohistory database. [www.nber.org/databases/macrophistory/contents/](http://www.nber.org/databases/macrophistory/contents/).
- Neftel, A., Friedli, H., Moor, E., Ltscher, H., Oeschger, H., Siegenthaler, U., and Stauffer, B. (1994). Historical CO<sub>2</sub> record from the Siple station ice core. In *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak
- Ridge National Laboratory, US Dept. of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA. [cdiac.ornl.gov/trends/co2/siple.htm](http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/siple.htm).
- Netherlands Environmental Assessment Agency. (2006). History database of the global environment. [www.mnp.nl/hyde/](http://www.mnp.nl/hyde/).
- Nickol, C. L. (2008). Silent Aircraft Initiative koncept risk assessment. [ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20080012497\\_2008011089.pdf](http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20080012497_2008011089.pdf).
- Norrström, H. (1980). Low waste technology in pulp and paper industries. *Pure & Appl. Chem.*, 52:1999–2004. [www.iupac.org/publications/pac/1980/pdf/5208x1999.pdf](http://www.iupac.org/publications/pac/1980/pdf/5208x1999.pdf).
- Nuttall, W. J. (2004). *Nuclear Renaissance*. Institute of Physics Publishing.
- OECD Nuclear Energy Agency. (2006). *Forty Years of Uranium Resources, Production and Demand in perspective*. OECD Publishing. ISBN 9264028064. [books.google.com/books?id=HIT1o985uKYC](http://books.google.com/books?id=HIT1o985uKYC).
- Ongena, J. and Van Oost, G. (2006). Energy for future centuries. Will fusion be an inexhaustible, safe and clean energy source? [www.fusie-energie.nl/artikelen/ongena.pdf](http://www.fusie-energie.nl/artikelen/ongena.pdf).
- Oswald, J., Raine, M., and Ashraf-Ball, H. (2008). Will British weather provide reliable electricity? *Energy Policy*, in press. doi: 10.1016/j.enpol.2008.04.03.
- Price, R. and Blaise, J. (2002). Nuclear fuel resources: Enough to last? [www.ingentaconnect.com/content/oeecd/16059581/2002/00000020/0000002/6802021e](http://www.ingentaconnect.com/content/oeecd/16059581/2002/00000020/0000002/6802021e).
- Putt, R. (2007). *Algae as a biodiesel feedstock: A feasibility assessment*. [www.eere.energy.gov/afdc/pdfs/algae.pdf](http://www.eere.energy.gov/afdc/pdfs/algae.pdf).
- Quayle, R. G. and Changery, M. J. (1981). Estimates of coastal deepwater wave energy potential for the world. *Oceans*, 13:903–907. [ieeexplore.ieee.org/iel6/8271/25889/01151590.pdf](http://ieeexplore.ieee.org/iel6/8271/25889/01151590.pdf).
- Rice, T. and Owen, P. (1999). *Decommissioning the Brent Spar*. Taylor and Francis.
- Richards, B. S. and Watt, M. E. (2007). Permanently dispelling a myth of photovoltaics via the adoption of a new net energy indicator. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(1):162172. [www.sciencedirect.com/science/journal/13640321](http://www.sciencedirect.com/science/journal/13640321).
- Richards, H. G., Parker, R. H., Green, A. S. P., Jones, R. H., Nicholls, J. D. M., Nicol, D. A. C., Randall, M. M., Richards, S., Stewart, R. C., and Willis-Richards, J. (1994). The performance and characteristics of the experimental hot dry rock geothermal reservoir at Rosemanowes, Cornwall (1985-1988). *Geothermics*, 23(2):73–109. ISSN 0375-6505.
- Ridley, T. M. and Catling, D. T. (1982). The energy implications of the design of mass transit railways. Presented at Tunnelling '82 (Third International Symposium), Brighton.
- Rogner, H.-H. (2000). Energy resources. In *World Energy Assessment – Energy and the challenge of sustainability*, chapter 5. UNDP, New York, USA. [www.undp.org/energy/activities/wea/draft-start.html](http://www.undp.org/energy/activities/wea/draft-start.html).
- Ross, A. (2008). The Loch Sloy hydro-electric scheme 1950. [www.arrocharheritage.com/LochSloyHydroElectricScheme.htm](http://www.arrocharheritage.com/LochSloyHydroElectricScheme.htm).
- Royal Commission on Environmental Pollution. (2004). *Biomass as a renewable energy source*. [www.rcep.org.uk](http://www.rcep.org.uk).
- Royal Society working group on biofuels. (2008). *Sustainable biofuels: prospects and challenges*. [royalsociety.org](http://royalsociety.org). Policy dokument 01/08.
- Rubbia, C., Rubio, J., Buono, S., Carminati, F., Fioretter, N., Galvez, J., Gel'es, C., Kadi, Y., Klapisch, R., Mandrillon, P., Revol, J., and Roche, C. (1995). Conceptual design of a fast neutron operated high power energy amplifier. Technical Report CERN/AT/95-44 (ET), European Organization for Nuclear Research. [doc.cern.ch/archive/electronic/other/generic/public/cer-0210391.pdf](http://doc.cern.ch/archive/electronic/other/generic/public/cer-0210391.pdf).
- Ruddell, A. (2003). Investigation on storage technologies for intermittent renewable energies: Evaluation and recommended r&d strategy. [www.itpower.co.uk/investire/pdfs/flywheelrep.pdf](http://www.itpower.co.uk/investire/pdfs/flywheelrep.pdf).
- Rydh, C. J. and Karlström, M. (2002). Life cycle inventory of recycling portable nickel-cadmium batteries. *Resources, Conservation and Recycling*, 34:289–309. [homepage.te.hik.se/personal/tryca/battery/abstracts.htm](http://homepage.te.hik.se/personal/tryca/battery/abstracts.htm).
- Salter, S. H. (2005). Possible under-estimation of the UK tidal resource. [www.berr.gov.uk/files/file31313.pdf](http://www.berr.gov.uk/files/file31313.pdf). Submission for DTI Energy Review.
- Schellnhuber, H. J., Cramer, W., Nakicenovic, N., Wigley, T., and Yohe, G. (2006). *Avoiding Dangerous Climate Change*. Cambridge Univ. Press. [www.defra.gov.uk/environment/climatechange/internat/pdf/avoid-dangercc.pdf](http://www.defra.gov.uk/environment/climatechange/internat/pdf/avoid-dangercc.pdf).
- Schiermeier, Q., Tollefson, J., Scully, T., Witze, A., and Morton, O. (2008). Energy alternatives: Electricity without carbon. *Nature*, 454:816–823. doi: 10.1038/454816a.
- Schlaich, J., Bergermann R, Schiel, W., and Weinrebe, G. (2005). „Design of Commercial Solar Updraft Tower Systems - Utilization of Solar Induced Convective Flows for Power Generation“. *Journal of Solar Energy Engineering* 127 (1): 117-124. doi:10.1115/1.1823493. [www.sbp.de/de/html/contact/download/The\\_Solar\\_Updraft.pdf](http://www.sbp.de/de/html/contact/download/The_Solar_Updraft.pdf).
- Schlaich, J., Schiel, W. (2001) Solar Chimneys, in RA Meyers (ed), *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, 3rd Edition, Academic Press, London. ISBN 0-12-227410-5. [www.solarmillennium.de/pdf/SolarCh.pdf](http://www.solarmillennium.de/pdf/SolarCh.pdf).



- Schmer, M. R., Vogel, K. P., Mitchell, R. B., and Perrin, R. K. (2008). Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass. *PNAS*, 105(2):464–469. doi: 10.1073/pnas.0704767105. [www.pnas.org/cgi/content/full/105/2/464](http://www.pnas.org/cgi/content/full/105/2/464).
- Schuiling, R. and Krijgsman, P. (2006). Enhanced weathering; an effective and cheap tool to sequester CO<sub>2</sub>. *Climatic Change*, 74(1-3):349–354.
- S. I. Schwartz, editor. (1998). *Atomic Audit: Costs and Consequences of US Nuclear Weapons Since 1940*. Brookings Institution Press, Washington, D.C. [www.brook.edu/fp/projects/nucwcost/schwartz.htm](http://www.brook.edu/fp/projects/nucwcost/schwartz.htm).
- Seko, N., Katakai, A., Hasegawa, S., Tamada, M., Kasai, N., Takeda, H., Sugo, T., and Saito, K. (2003). Aquaculture of uranium in seawater by a fabric-adsorbent submerged system. *Nuclear Technology*, 144(2): 274–278.
- Shapouri, H., Duffield, J. A., and Graboski, M. S. (1995). Estimating the net energy balance of corn ethanol. [www.ethanol-gec.org/corn\\_eth.htm](http://www.ethanol-gec.org/corn_eth.htm). United States Dept. of Agriculture Agricultural Economic Report Number 721.
- Sharman, H. (2005). Why wind power works for Denmark. *Proc. ICE Civil Engineering*, 158:6672. [incoteco.com/upload/CIEN.158.2.66.pdf](http://incoteco.com/upload/CIEN.158.2.66.pdf).
- Shaw, T. L. and Watson, M. J. (2003a). The effects of pumping on the energy potential of a tidal power barrage. *Engineering Sustainability*, 156(2):111–117. ISSN 1478-4637. doi: 10.1680/ensu.156.2.111.37018.
- Shaw, T. L. and Watson, M. J. (2006). Flexible power generation from a Severn barrage. [www.dti.gov.uk/files/file31332.pdf](http://www.dti.gov.uk/files/file31332.pdf).
- Shaw, T. L. and Watson, M. J. (2003b). Flexible power generation from the tides. *Engineering Sustainability*, 156(2):119–123. ISSN 1478-4629.
- Shepherd, D. W. (2003). *Energy Studies*. Imperial College Press.
- Shockley, W. and Queisser, H. J. (1961). Detailed balance limit of efficiency of p–n junction solar cells. *Journal of Applied Physics*, 32 (3):510–519.
- Shyy, W., Berg, M., and Ljungqvist, D. (1999). Flapping and flexible wings for biological and micro air vehicles. *Progress in Aerospace Sciences*, 35(5):455–505.
- Siegenthaler, U., Monnin, E., Kawamura, K., Spahni, R., Schwander, J., Stauffer, B., Stocker, T., Barnola, J.-M., and Fischer, H. (2005). Supporting evidence from the EPICA Dronning Maud Land ice core for atmospheric CO<sub>2</sub> changes during the past millennium. *Tellus B*, 57(1):51–57. doi: 10.1111/j.1600-0889.2005.00131.x. [ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/antarctica/maud/edml-co2-2005.xls](http://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/antarctica/maud/edml-co2-2005.xls).
- Sims, R., Schock, R., Adegbululge, A., Fenhann, J., Konstantinaviciute, I., Moomaw, W., Nimir, H., Schlamadinger, B., Torres-Martinez, J., Turner, C., Uchiyama, Y., Vuori, S., Wamukonya, N., and Zhang, X. (2007). Energy supply. In B. Metz, O. Davidson, P. Bosch, R. Dave, and L. Meyer, editors, *Climate Change 2007: Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Univ. Press, Cambridge. [www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-chapter4.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-chapter4.pdf).
- Sinden, G. (2005). Variability of UK marine resources. Technical report, Oxford. [www.carbontrust.co.uk/NR/rdonlyres/EC293061-611D-4BC8-A75C-9F84138184D3/0/variability\\_uk\\_marine\\_energyresources.pdf](http://www.carbontrust.co.uk/NR/rdonlyres/EC293061-611D-4BC8-A75C-9F84138184D3/0/variability_uk_marine_energyresources.pdf).
- Sleath, J. F. A. (1984). *Sea bed mechanics*. Wiley, New York. ISBN 047189091X.
- Socolow, R. (2006). Stabilization wedges: An elaboration of the concept. In H. J. Schellnhuber, W. Cramer, N. Nakicenovic, T. Wigley, and G. Yohe, editors, *Avoiding Dangerous Climate Change*. Cambridge Univ. Press.
- Steinberg, M. and Dang, V. (1975). Preliminary design and analysis of a process for the extraction of lithium from seawater. Technical Report 20535-R, Brookhaven National Lab., Upton, N.Y. (USA). [www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti\\_id=7351225](http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=7351225). Presented at Symposium on United States lithium resources and requirements by the year 2000; 22 Jan 1976; Lakewood, CO, USA.
- Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Subcommittee on Poultry Nutrition, National Research Council. (1994). *Nutrient Requirements of Poultry*. National Academy Press, Washington, ninth revised edition. [www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309048923](http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309048923).
- Supple, B. (1987). The history of the British coal industry. Vol. 4, 1913–1946: the political economy of decline. Clarendon, Oxford. ISBN 019828294X. Taylor, G. I. (1920). Tidal friction in the Irish Sea. *R. Soc. Lond. Ser. A*, 220:1–33. doi: 10.1098/rsta.1920.0001.
- Taylor, G. K. (2002a). Are you missing the boat? the ekranoplan in the 21st century – its possibilities and limitations. [www.hypercraftassociates.com/areyoumissingtheboat2002.pdf](http://www.hypercraftassociates.com/areyoumissingtheboat2002.pdf). Presented at the 18th Fast Ferry Conf., Nice, France.
- Taylor, S. J. (2002b). The Severn barrage – definition study for a new appraisal of the project. [www.dti.gov.uk/files/file15363.pdf](http://www.dti.gov.uk/files/file15363.pdf). ETSU REPORT NO. T/09/00212/00/REP.
- Tennekes, H. (1997). *The Simple Science of Flight*. MIT Press.
- Thakur, P. C., Little, H. G., and Karis, W. G. (1996). Global coalbed methane recovery and use. *Energy Conversion and Management*, 37 (6/8):789–794.
- The Earthworks Group. (1989). *50 Simple things you can do to save the earth*. The Earthworks Press, Berkeley, California. ISBN 0-929634-06-3.
- Treloar, G. J., Love, P. E. D., and Crawford, R. H. (2004). Hybrid life-cycle inventory for road construction and use. *J. Constr. Engrg. and Mgmt.*, 130(1):43–49.
- Trieb, F. and Knies, G. (2004). A renewable energy and development partnership EU-ME-NA for large scale solar thermal power and desalination in the Middle East and in North Africa. [www.gezen.nl/wordpress/wp-content/uploads/2006/09/sanaa-paper-and-annex\\_15-04-2004.pdf](http://www.gezen.nl/wordpress/wp-content/uploads/2006/09/sanaa-paper-and-annex_15-04-2004.pdf).
- Tsuruta, T. (2005). Removal and recovery of lithium using various microorganisms. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 100(5):562–566. [www.jstage.jst.go.jp/article/jbb/100/5/100\\_562/article](http://www.jstage.jst.go.jp/article/jbb/100/5/100_562/article).
- Turkenburg, W. C. (2000). Renewable energy technologies. In *World Energy Assessment – Energy and the challenge of sustainability*, chapter 7. UNDP, New York, USA. [www.undp.org/energy/activities/wea/draft-start.html](http://www.undp.org/energy/activities/wea/draft-start.html).
- Ucuncu, A. (1993). Energy recovery from mixed paper waste. Technical report, NC, USA. [www.p2pays.org/ref/11/10059.pdf](http://www.p2pays.org/ref/11/10059.pdf).
- Van den Berg, G. (2004). Effects of the wind profile at night on wind turbine sound. *Journal of Sound and Vibration*, 277:955–970. [www.nowap.co.uk/docs/windnoise.pdf](http://www.nowap.co.uk/docs/windnoise.pdf).

- van Voorthuysen, E. d. M. (2008). Two scenarios for a solar world economy. *Int. J. Global Environmental Issues*, 8(3):233247.
- Ventour, L. (2008). The food we waste. [news.bbc.co.uk/1/shared/bsp/hi/pdfs/foodwewaste\\_fullreport08\\_05\\_08.pdf](http://news.bbc.co.uk/1/shared/bsp/hi/pdfs/foodwewaste_fullreport08_05_08.pdf).
- Warwick HRI. (2007). Direct energy use in agriculture: opportunities for reducing fossil fuel inputs. <http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/whri/research/climatechange/energy/>.
- Water UK. (2006). Towards sustainability 2005–2006. [www.water.org.uk/home/policy/reports/sustainability/indicators-2005-06/towards-sustainability-2005-2006.pdf](http://www.water.org.uk/home/policy/reports/sustainability/indicators-2005-06/towards-sustainability-2005-2006.pdf).
- Watson, J., Hertin, J., Randall, T., and Gough, C. (2002). Renewable energy and combined heat and power resources in the UK. Technical report. [www.tyndall.ac.uk/publications/working\\_papers/wp22.pdf](http://www.tyndall.ac.uk/publications/working_papers/wp22.pdf). Working Paper 22.
- Wavegen. (2002). Islay Limpet project monitoring – final report. [www.wavegen.co.uk/pdf/art.1707.pdf](http://www.wavegen.co.uk/pdf/art.1707.pdf).
- Weber, C. L. and Matthews, H. S. (2008). Food-miles and the relative climate impacts of food choices in the United States. *Environ. Sci. Technol.*, 42(10):3508–3513. doi: 10.1021/es702969f.
- Weightman, M. (2007). Report of the investigation into the leak of dissolver product liquor at the Thermal Oxide Reprocessing Plant (THORP), Sellafield, notified to HSE on 20 April 2005. [www.hse.gov.uk/nuclear/thorpreport.pdf](http://www.hse.gov.uk/nuclear/thorpreport.pdf).
- Wiedmann, T., Wood, R., Lenzen, M., Minx, J., Guan, D., and Barrett, J. (2008). Development of an embedded carbon emissions indicator producing a time series of input-output tables and embedded carbon dioxide emissions for the UK by using a MRIO data optimisation system. [www.wavegen.co.uk/pdf/art.1707.pdf](http://www.wavegen.co.uk/pdf/art.1707.pdf).
- Williams, D. and Baverstock, K. (2006). Chernobyl and the future: Too soon for a final diagnosis. *Nature*, 440:993–994. doi: 10.1038/440993a.
- Williams, E. (2004). Energy intensity of computer manufacturing: hybrid assessment combining process and economic input-output methods. *Environ Sci Technol*, 38(22):6166–6174. ISSN 0013-936X. [www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=pubmed&dopt=Abstract&list\\_uids=15573621](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=pubmed&dopt=Abstract&list_uids=15573621).
- Williams, R. H. (2000). Advanced energy supply technologies. In *World Energy Assessment – Energy and the challenge of sustainability*, chapter 8. UNDP, New York, USA. [www.undp.org/energy/activities/wea/draft-start.html](http://www.undp.org/energy/activities/wea/draft-start.html).
- Wilson, E. M. and Balls, M. (1990). Tidal power generation. In P. Novak, editor, *Developments in Hydraulic Engineering*, chapter 2. Taylor & Francis. ISBN 185166095X.
- Wood, B. (1985). Economic district heating from existing turbines. *Institution of Civil Engineers Proc.* pt. 1, 77:27–48.
- Yaros, B. (1997). Life-cycle thinking for wood and paper products. In E. Ellwood, J. Antle, G. Eyring, and P. Schulze, editors, *Wood in Our Future: The Role of Life-Cycle Analysis*. Proc. a Symposium.
- Zaleski, C. P. (2005). The future of nuclear power in France, the EU and the world for the next quarter-century. [tinyurl.com/32louu](http://tinyurl.com/32louu).
- Zhu, X.-G., Long, S. P., and Ort, D. R. (2008). What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass? *Current Opinion in Biotechnology*, 19:153159.

# Index

- λ, 307  
 13 ampérov, 50  
 1698, 6, 19  
 1769, 6  
 1910, 7  
 1979, 20  
 2050, 203  
 747, 132  
 A380, 132  
 AA baterka, 89  
 Adelman, Kenneth, 40  
 aerodynamická účinnosť, 273  
 aerodynamický, 255  
 Airbus, 132  
 Aircar, 129  
 akademici, 293  
     akákoľvek farba, pokiaľ by bola  
         zelená, 122  
 akcia, 203  
 akumulátory, 89, 137, 205  
     dobijateľné, 83, 87  
     energetická hustota, 199, 261  
     lítium-sodíkové, 202  
     nikel-kadmiové, 83, 128  
     účinnosť, 202  
 albatros, 272, 273  
 albedo flip, 243  
 Albert Hall, 332  
 alchémia, 88  
 Alpy, 209  
 altruizmus, 5  
 Alžírsko, 177, 338  
 americká armáda, 102  
 Američan, 104, 234  
 Amerika, 21, 93, 338  
 Amonix, 182  
 ampéry, 50  
 analógia, 24  
 analýza životného cyklu, 88, 131, 324  
 Andasol, 178, 184  
 Anglicko, zrážky, 55  
 Anglicko-Francúzsko, spojenie 183, 209  
 áno minister, 228  
 Aptera, 137  
 Aquamarine Power Ltd, 310  
 Arizona, 182, 236, 285  
 armáda, 221  
     pomoc 221  
 Artemis Intelligent Power, 125  
 arzenid gália, 40  
 Atkinsonov cyklus, 136  
 Atlantický oceán  
     príliv, 78  
     vlny, 74  
 Atlantik, 73, 309  
 atmosféra, 10  
 Atómy pre mier, 133  
 átriový ohrievač, 52  
 Ausra, 184  
 Austrália, 338  
 auto, 29, 118, 255  
     eko-auto, 119  
     elektrické, 127  
     hybridné, 126  
     nabíjanie, 261  
     svetlá, 57  
     zabudovaná energia, 94  
     v tvare ryby, 137  
     výroba, 94  
 auto Lightning, 137  
 auto na vodík, 128, 130, 139  
 autobus, 128  
     elektrický, 120  
 automapa, 203  
 B&Q, 66  
 Baer, 15  
 balenie lupienkov, 80  
 balenie, 88  
 balón, 280  
 Bangladéš, 338  
 Barbados, 230  
 barel ropy, 331  
 Bavorsko, 41, 48, 216  
 bazén, 82, 332  
 BBC, 68, 71  
 Beatrice, 64, 66  
 Beaufortova škála, 263  
 Bedford, 55  
 Belgicko, 21, 208  
 benzín, 31  
 benzínová pumpa, 333  
 benzínový motor, 136  
 Berlingo, 127  
 betón, 325  
 Betz, Albert, 264  
 bezdrôtový telefón, 69  
 bezpečnosť dodávok energie, 5, 111  
 bezvýznamné, 8  
 bicykel, 119, 128, 258, 264  
 bielizeň 54  
 biliardová guľa, 81  
 bioetanol z celulózy, 205  
 bioetanol, 205  
     z cukrovej repy, 283  
     z cukrovej trstiny, 284  
     z kukurice, 284  
 biomasa, 38, 72  
     spoluspaľovanie, 212  
     plantáž, 212  
     výťažky, 48  
 biometanol, 204  
 bionafta z repky, 283  
 bionafta, 42, 204z rias, 285  
 biopalivo, 42, 78, 283  
     cukrová repa, 283  
     cukrová trstina, 284  
     etanol z celulózy, 284  
     jatrofa, 284  
     koncentrácia výkonu, 283  
     produkcia, 205  
     repka, 283  
     z kukurice, 284  
     z rias, 285  
 Birmingham, 206  
 Blair, Tony, 213, 222, 230  
 blok, 325  
 BMW, 29, 260  
     na vodík, 7, 130, 139  
 Boeing 747, 128  
 Boltzmann, 272  
 bomba, 100,101  
 Bombardier Q400, 35  
 bór, 16, 202, 209  
 BP, 3, 27, 219  
 bravčové mäso, 77  
 brehár čiernochvostý, 277  
 Brinkley, Mark, 66  
 Bristolský kanál, 84  
 BritNed, 197  
 Britské ostrovy, 83  
 Brooklynský veterný mlyn, 264  
 Brown, Gordon, 21  
 brzdenie, rekuperačné, 125  
 brzdy, 255  
 BTU, 331  
 budova  
     energeticky účinná kancelária, 298  
     Heatkeeper, 297, 299  
     koeficient straty tepla, 294  
     pasívny dom, 298  
     priepustnosť, 294  
     regulácie, 291  
     spotreba tepla, 140, 289  
     tepelná hmota, 305  
     triedy energetickej hospodárnosti,  
         144  
     typický dom, 140  
     údaje, 132  
     Univerzita Cambridge, 298  
 Bush, George W., 42  
 C3 rastliny, 49  
 C4 rastliny, 49  
 C5, 66, 127  
 Caithness, 268  
 Cambridge, 44, 52, 91  
 Cardiff, 84  
 CCS, 157, *pozri* aj zachytávanie  
     a ukladanie uhlíku  
 celková výhrevnosť, 31  
 Celzia 289, 328

- cement, 325  
 cena „Eco-Bollocks“, 66  
 Cesna, 128, 274  
 cestovanie lietadlom, 211  
   emisie, 16  
 cestovanie, 30  
   emisie, 16  
   priemerné, 30  
 cirkulácia oceánov, 242  
 cirkulácia oceánu, 242  
 cirok, 49  
 Citroen Berlingo, 127  
 civilizácia, 50  
 Clarkson, Jeremy, 126  
 CO<sub>2</sub>, *pozri* oxid uhličitý  
 Colórado, 285  
 Coriolisova sila, 82  
 Cornwall, 91  
 Cornwalské pirohy, 91  
 Coronation Street, 196  
 CPV, *pozri* koncentračná fotovoltika  
 Croesor, 202  
 CRT (klasický vákuový monitor), 70  
 Cruachan, 191  
 CSP, *pozri* koncentračná solárna energia  
 cudzinci, 5  
 cukrová repa, 283  
 cukrová trstina, 49  
 cunami, 83, 311  
 Curtis, Jamie Lee, 130  
 CUTE, 130  
 cv, 333  
 cyklista, 264
- čaj, 50, 332  
 čajová lyžička, 69  
 časopis *Independent*, 8, 20, 66  
 časopis *Nature*, 129, 139  
 časopisy, 94, 95, 284, 287  
 čelná plocha, 119, 255  
 čerpacia stanica  
   úloha v elektrickej doprave, 261
- Česká Republika, 21  
 čisté uhlie, 203, 212  
 Čína 5, 21, 321  
 čísla, 4  
 čln, *pozri* aj loď  
   na jadrový pohon, 133  
   spotreba energie, 92
- člny ako lietadlá, 279
- daň, 219  
 Dánsko, 26, 33, 34, 63, 197  
 Darth Vader, 68  
 DD, 172  
 decentralizácia  
   mikroturbinami, 63
- definícia  
   trvalo udržateľný rozvoj, 157
- denná tlač, 95
- denné stupne, 291, 293
- DERV  
   energetická hustota, 199  
   výhrevnosť, 199
- diaľkové vykurovanie, 145  
 diaľnica, 217  
 Diamond, Jared, 177  
 digitálna hydraulika, 126  
 digitálne rádio, 70  
 digitálne veže, 68  
 Dinorwig, 191–193, 216, 329  
 DIY oprava planéty, 72, 154  
 dobro proti zlu, 100  
 dodávka, elektrická, 138  
 dochádzanie, údaje, 30, 127, 134, 136  
 dojazd  
   elektrického auta, 261  
   vtáka, 276
- dom, 293  
 domov, 4, 329  
 doprava jedla, 91  
 doprava, 203  
   účinnosť, 79  
   bicyklu, 119, 134, 259  
   eko-auta, 119  
   elektrického auta, 127  
   elektrického skútra, 138  
   katamaránu, 282  
   lietadla, 36, 274  
   nákladného vlaku, 92  
   vlaku, 119, 134  
   zvýšenie účinnosti, 95
- dopravná loď, 128, 133  
 dopravná zápcha, 124  
 dopravné svetlá, 59  
 dotácie, 219  
 Downreay, 163  
 dovezený výkon, 206  
 dovoz, 322  
   energie, 209, 211  
   uhlia, 343
- Drax (uholná elektrárňa), 330  
 drevo, 43, 49, 95, 284  
 drevotrieska, 325  
 dyhové dosky, 325
- DT, 172  
 dusík, 272  
 DVD prehrávač, 69  
 dvere, 294  
 dvojité okná, 141, 294  
 dvojposchodový autobus, 3, 332  
 dvojsedadlové elektrické auto, 138  
 dynamický dopyt, 196, 202
- e, 333  
 e500, 137  
 EastEnders, 196  
 Eco Cute, 154  
 EdF, 5, 342  
 EESor, 199
- Eggborough, 330  
 EGS (zosilnený geotermálny systém), 234  
 Einstein, 277  
 Eisenhower, D.D., 100, 133  
 eko auto, 119  
 eko loď, 128, 130  
 ekologické náklady obnoviteľných zdrojov,  
   23
- ekonóm, 2  
 ekonómia, 29  
 ekonomické náklady, 23  
 ekonomika, 66, 203, 211  
   vetra, 34
- ekranoplán, 281  
 elektrické vozidlá a veterná energia, 195  
 elektrárň, 5, 26, 103, 330, 342  
   Elean, 288  
   na spaľovanie slamy, 286  
   odstavenie, 5  
   solárna, 208  
   uhofná, 330
- elektrická sieť, 196  
 elektrické vozidlá, 189  
 elektrické vozidlo, 197, 206  
 elektrická akumulátora, 131  
 RAV4, 138  
 v chladných oblastiach, 132  
 v teplých oblastiach, 131  
 životnosť, 131
- elektrický autobus, 120  
 elektrický oheň, 51  
 elektrický ohrievač s umelým ťahom, 51
- elektrifikácia  
   dopravy, 204  
   vykurovania, 205
- elektrina, 27  
 elektrina z vody, 55, 206, 235  
 na Islande, 183  
 na vysočine, 56
- elektrina, 50, 69, 203  
 dodávky, 50, 131, 204, 342  
 hlavné prívody, 196  
 nedostatok energie, 5  
 riadenie dopytu, 196  
 sieť, 197  
 výkyvy dopytu, 186  
 zo zelených zdrojov, 131  
 z vody, 55
- elektromobil, 128  
 CO<sub>2</sub> emisie, 131  
 dobíjanie, 261  
 dojazd, 261  
 teória, 261  
 údaje, 127
- elektrospotrebiče, 69  
 Elettrica, 127  
 emisie  
   cestovania, 16  
   letu, 16  
   letania, 16

- palív, 335
- výroby elektriny, 335
- emisie oxidu uhličitého
  - elektrického auta, 131
- energetická hustota, 29, 31, 284
  - DERV, 199
  - etanolu, 199
  - kerozinu, 199
  - lítium-iónového katalyzátora, 199
  - masla, 29
  - metanolu, 199
  - nafty, 199
  - oloveného akumulátoru, 199
  - palivového dreva, 199
  - paliva, 29, 199
  - propánu, 199
  - uhlia, 199
  - vodíku, 199
- energetická intenzita, 115
- energetická účinnosť, 58
- energetické náklady spracovania, 324
- energetické plodiny, 42, 283
- energetický násobič, 166
- energetický nedostatok, 5, 342
- energia, 24
  - geotermálna, 9
  - chemická, 31
  - kinetická, 28
  - nízko kvalitatívna, 39
  - úspory, 26
  - v kontraste s výkonom, 24
  - vln, 307
  - vyparovania, 31
  - výdaje, 217
- entropia, 26, 92
- Estónsko, 21
- etanol z celulózy, 284
- etanol, 42
  - energetická hustota, 199
  - výhrevnosť, 199
  - z cukrovej trstiny, 284
  - z kukurice, 284
- Etheridge, D. M., 19
- etické predpoklady, 17
- etika, 11
  - množivého reaktora, 163
  - znečistenia, 14
- Európska únia, 219
- Európa, 43, 104, 108, 207, 233, 338
- kontinentálna, 145, 146, 329
- Európska asociácia pre veternú energiu, 235
- EV1, 137
- Evans, R. Keith, 139
- Exxon, 219
- fabrika, 88
- Faerské ostrovy, 197, 198
- faktické predpoklady, 17
- faktor zaťaženia, 33, 64, 66, 267, 268
- farba, 325
- fén, 88
- Fetiš, 138
- FEU, 332
- Ffestiniog, 191
- Fido, 78
- Finsko, 208, 216
- Fischer, Joška, 177
- Florø, 312
- formácia lietania, 270, 278
- Formula Jeden, 333
- fosilne palivá, 5
  - zlom, 5
- fosilne palivo, 203
  - záloha pre vietor, 187
- Fossett, Steve, 277
- fotosyntéza, 43, 285
- fotovoltaické články, 45
- fotovoltaika, 38, 39
- Foyers, 191
- fraktál, 65
- Francúzsko, 21, 171, 208, 209, 211
- futbal, 197
- fúzia deutéria, 172
- fúzia lítia, 172
- fúzny reaktor, 172
- fyzik, 2
- fyzika, 30
  - Newtonove zákony, 269
  - zachovanie energie, 26
- fyzikálne zákony
  - zachovania energie, 26
- g, 307
- Gaia, 2
- galón, 331
- General Motors, 129, 137
- genetická modifikácia, 43, 49, 285, 288
- genetické inžinierstvo, 44
- geo-inžinierstvo, 240
- geotermálna energia, 96
- geotermálna ťažba, 96
- geotermálny výkon, 26, 96
- geotermálny, 96, 237
  - Island, 183
  - magma, 99
  - suché teplé horniny, 99
  - zosilnená, 98
- GHG, *pozri* skleníkový plyn
- gigatona, 240
- gigawatt, 25, 188
- gigawatthodina, 25
- Giza, 332
- Glasgow, 33, 56
- Glendoe, 56
- GlobalFlyer, 277
- globálne otepľovanie, 10
- GM EV1, 137
- GM, 129
- gmt, 252
- gnuplot, 252
- Goodstein, David, 2
- Google, 239
- granit, 301, 302,
- gravitácia, 307
- Great Yarmouth, 268
- Greenpeace, 4, 19, 161, 210, 235, 269
- Greter Ivarsson, 97
- Grónsko, 10
- Grubb, Michael, 226
- guma, 258
- GW (e), 333
- GW, 25
- G-Wiz, 127
  - údaje, 127
- GWp, 333
- Haishan, 321
- Hammerfest, 84
- Hansen, Jim, 248
- Havaj, 6
- HDP, 105, 231, 336
- Heatkeeper, 297, 299
- Heaton, Emily, 43
- hektár, 246
- helikoptéra, 128
- Heliodynamics, 40, 48
- heliostaty, 184
- hélium, 280
- Helm, Dieter, 322
- Helston, 91
- Herne Bay, 60
- HEU, 102
- história, 108
- hlbky, 61
- hlbky vody, 61
- hliník, 89, 97, 325
  - Island, 183
  - plechovky, 89
  - zabudovaná energia, 87
- hliníkové baterky
  - energetická hustota, 199
- hluchý príliv, 81, 84
- hmla, 11
- hnojivo, 43, 48, 78, 80
- hodín osvit, 44
- hokejový graf, 19
- Holandsko, 201
- Honda, 31, 139
  - auto s palivovým článkom, 130
  - FCX Clarity, 130
- Horná snemovňa parlamentu, 228
- hornina, 96
- horúce suché horniny, 98, 99
- Housebilder's Bible, 66
- hovädzie mäso, 77
- hp (konská sila), 333
- hračky, 68
- hranice, 30
- hriankovač, 25, 50
- hrubá výhrevnosť, 31

- humanitárna koalícia, 244  
 Hummer, 129, 130  
 hus, 278  
 hustota obyvateľstva, 33, 177, 213  
     v meste, 152  
 hustota, 31, 263  
 HVDC, 178, *pozri* vysoko napätové DC  
 hybridné automobily, 126  
     porovnanie, 126  
     zavádzajúca reklama, 126  
 hydraulika, digitálna, 126  
 Hyperauto, 139
- chemická energia, 26, 27, 31  
 chladiaca veža, 145  
 chladnička a mraznička, 50, 69  
 chladnička, 50, 147  
 chladnička, výroba, 94  
 chladničky a riadenie spotreby, 196  
 chlpaté deky, 141  
 chlpatý, 141  
 chôdza, 79  
 Chruščov, 281
- i MiEV, 137  
 iba dočasne, 96  
 IKEA, 155  
 Indermuhle, A., 19  
 India, 21, 166  
 informačné systémy, 68  
 infračervený, 10  
 inštitút Rocky Mountain, 139  
 internet, 21  
 internetový odkaz, xi  
 invázia Nacistov, 110, 112, 267  
 investícia, 217  
 inžinier, 31  
 IPCC, 36, 169, 249  
 Írsko, 73, 187, 201, 312  
     výdaj vetra, 187  
 Isaac Asimov, 115  
 Island, 96, 97, 183, 185, 197  
 Islay, 75  
 ITER, 172  
 izolácia, 141, 205, 296  
 jablko, 259  
 jačmeň, 286  
 jadro, 211  
     kapacita, 342  
     odstavenie elektrární, 5, 342  
     reaktor  
         množivý, 163  
         energetický násobič, 166  
         fúzny, 172  
         tlakovodný, 162  
     výroba vodíka, 174  
     zbraň, 100, 161  
         testovanie, 220  
 jadrová energia, 2, 4, 18, 19, 68, 206  
     elektráreň, 162  
         potrebné palivo, 165  
         rýchlosť výstavby, 171  
         stavba, 169  
         náklady, 165, 167  
         neflexibilita, 186  
         odstavenie, 165, 217  
         údaje pre jednotlivé krajiny, 161  
     jadrová skládka, 220  
     jadrový reaktor  
         rýchly množivý, 163  
 Japonsko, 21, 144, 151, 173, 268, 338  
     legislatíva na podporu účinnosti, 153  
 jatrofa, 284  
 jazero  
     Loch Lomond, 192, 193  
     Loch Sloy, 56, 193  
 je možné mať iba jeden rad, 315, 316  
 jedenia mäsa, argument pre, 78  
 jedlo, 38  
     odpad, 43, 219  
 jednotka separačnej práce, 102  
 jednotky, 24, 329  
     premena, 368  
     rýchlosť, 263  
 Jersey Water, 93  
 Jersey, 310  
 JET, 198  
 Jevons, William Stanley, 19, 157, 158, 186  
 joule, 25, 328  
 J-Power, 194  
 Juhoafrická univerzita, 137  
 jumbo lietadlo, 273  
 Jutland, 65  
 Južná Afrika, 197
- kábel modemu, 68  
 kačka Stephena Saltera, 309  
 kachle, 50  
 Kalifornia, 182  
 Kalifornský technologický inštitút, 2  
 kalória, 330  
 Kalória, 76, 330  
 výhrevnosť, 199  
 kalorická hodnota, 29, 31, 48, 213, 284  
     čistá, 29  
     DERV, 199  
     dreva, 284  
     etanolu, 199  
     hrubá, 31  
     kerozínu, 199  
     masla, 28  
     metanolu, 199  
     nafty, 199  
     odpadu, 287  
     paliva, 29, 199  
     palivového dreva, 199  
     propánu, 199  
     uhlia, 199  
     vodíka, 199  
 kampaň, 72, 154  
 Kanada, 21, 235
- kanvica, 50, 51, 197  
 kapacita, 33, 63, 267  
 kartón, 284  
 katamarán, 128, 280, 282  
 Katar, 21  
 káva, 332  
 Kazachstan, 177, 338  
 kazetový prehrávač, 70  
 každá maličkosť pomáha, 3, 58, 68  
 kcal, 76, 330  
 Keeling, C. D., 19  
 kelvín, 289  
 Kemp, Roger, 135  
 Ken, 72, 154  
 Kentish Flats, 60, 64, 67, 216  
 keramika, 88  
 kerozin, 199, 203, 335  
     kalorická hodnota, 199  
     energetická hustota, 199  
 kilokalória, 330  
 kilotona, 101  
 kilowatt, 50  
 kilowatthodina za deň, 24  
 kilowatthodina, 24  
 kinetická energia, 28, 255, 263, 307  
 King, David, 228, 248  
 Kinlochewe, 55, 56  
 klimatická zmena, 5, 10  
     je o energii, 5  
     väčšia hrozba ako terorizmus, 4  
 klimatickí neaktivisti, 8, 240  
 klimatická, 52, 144, 151  
     v autách, 131  
 kĺzací pomer, 273  
 kĺzacie číslo, 273  
 koeficient odporu, 137, 254–256  
 koeficient straty tepla, 140, 141, 291  
 koeficient straty tepla, 294, 295, 297  
 kogenerácia, 145  
 kohútik, 24  
 kola, 89, 94  
 koľaj, 119, 258–260  
     spotreba energie, 92  
     náklad, 92  
 komín, 145, 157  
     elektráreň, 182  
 Komisia pre trvalo udržateľný rozvoj, 2, 106  
 kompaktný lineárny fresnelov reflektor, 184  
 kôň, 78  
 koncentračná fotovoltika, 182  
 koncentračná solárna energia, 40, 178, 184  
     parabolické žľaby, 178  
 koncentrácia výkonu, 41  
     biopaliva, 283  
     elektriny z vody, 55, 56  
     elektriny z vody na vysočinách, 56  
     fotovoltiky 47  
     kolektorov na ohrev vody, 39

- koncentračnej solárnej elektrárne, 178, 184
  - ozdobnice, 43
  - rastlín, 43
  - repky, 283
  - solárneho zariadenia, 38
  - veterného parku, 32
  - vetra, 263
  - vetra z morí, 60
  - všetkých obnoviteľných zdrojov, 112, 177
- kondenzácia, 292
- kondenzačný kotol, 292
- konská sila, 28
- kontajner, 91, 332
- kontinent, 97
- kontinentálna Európa, 145, 329
- kontinentálny šelf, 82, 243
- konverzná tabuľka, rýchlosť, 263
- Konzervatívna strana, 114
- kôra, 96
- kov, 88
- krajiny, 17, 105, 231, 336, 337
  - civilizované, 50
- krava, 76, 77, 79
- kreičitan horečnatý, 246
- krídlo, 270
- krídlová loď, 279
- krúžok, 181, 221
- kryštál, 302
- kubická stopa, 334
- kubický meter, 334
- kukurica, 49, 286
- kúpeľ, 50, 51
- kurča, 77
  - exkrementy, 41, 286
  - krmivo, 72
- kúrenie, 203
  - podlahové, 151
  - účinnosť, 292
- kvart, 331
- KVET (anlg. CHP), 145
- kW (e), 333
- kW o, 333
- kyslík, 272
  
- l, 307
- La Rance, 84, 85
- labouristi, 19
- ľadoborec, 133
- ľadovce, 6
- ľahko vyputeľné a zapnutelné, 186
- Langeled, 62, 63, 219
- laptop, 70
- Larry, 227
- laserová tlačiareň, 69, 70
- láska, 4
- Lawson, Dominic, 8, 20
- LCA, *pozri* analýza životného cyklu
- LCD (monitor z tekutých kryštálov), 70
- Learjet, 128, 275
- LED, 58, 205
- Leggett, Jeremy, 228
- lego, 88
- lepené lamelové drevo, 325
- les, 205, 235
- letecký benzín, 31
- letisko Heathrow, 217
- LEU, 102
- Lexus, 126
- Liberálni demokrati 210, 213
- Líbya, 177, 338
- lietadláčny ako príklad, 279
- lietadlo, 35, 132
  - mýtus o pomalšom lietaní, 269
  - turbovrtuľové, 35
  - zlepšenie účinnosti, 37
- lietadlová loď, 220
- lietanie
  - budúcnosť, 132, 211
  - emisie, 16, 36
  - formácia, 270
  - lietajúce člny, 279
  - mýty o možnosti spomalenia, 269
  - optimálna rýchlosť, 272
  - optimálna výška, 277
- Limity rastu, 174
- Limpet, 75
- litánie, 10, 21
- liter, 332
- lítium, 139, 172, 176
- lítium-iónový akumulátor
  - energetická hustota, 199
  - účinnosť, 202
- lítium-iónový polymérový akumulátor
  - energetická hustota, 199
- lítium-iónový, 137
- Livingstone, Ken, 154
- Llyn Stwlan, 191
- loď, 9
  - farba, 3
  - krížnik, 88
  - na jadrový pohon, 133
  - nákladná, 91
  - spotreba energie, 92
- lodná doprava, 91, 95, 133
- logaritmická miera, 7, 9
- Lomborg, Bjørn, 2
- London Array, 66
- Londýn, 72, 154, 206, 217
- Londýnske metro, 135
- Loremo, 137
- Los Angeles, 3
- Lovelock, James, 2
- LPG, 94
- lumenov na watt, 58
- Lun, 281
- lupienky, 80
- Luxembursko, 21
  
- m, 329
- mačka, 63, 78, 103
- magické ihrisko, 171
- magma, 99
- make-up, 219
- malé je pekné, 161
- mali by sme mať zmysluplný plán, 163
- Malin Head, 312
- malý štvorec, 236
- Manzanares, 183
- mapa, 11
- Maplin, 68
- margarín, 29
- Marchetti, C., 174
- maslo, 29, 31
  - výhrevnosť, 28
- mäkké drevo, 284, 325
- mäso, 77
- mäsožravec, 77
- Mastrandrea, 15
- maximálny výkon, 63
- Mazda, 131
- McCarthy, Donnachadh, 66
- McMahon, Richard, 72
- McNuggets, 42
- meď, 325
- medzikontinentálny let
  - emisie, 16
- Mega City, 137
- megatona, 101
- membrána, 92
- merač, 334
- merač spotreby, 68
- mesačná energia, 82
- Mesiac, 81, 82, 96
- mesto
  - Tsukuba, 268
- metán, 43, 206, 287
- metanol, 209
  - energetická hustota, 199
  - výhrevnosť, 199
- metánové hydráty, 243
- metapost, 252
- meter, 328
- Mexická vlna, 307
- Mexiko, 235
- miešanie, 92
- migrácia, 278
- mikrogenerácia, 63, 268
- mikro-CHP, 145
- mikroturbína, 63, 268
- mikroviator, 63
- mikrovlny, 50, 51
- miliarda, 3, 6, 11, 217, 329
- milión, 329
- Ministerstvo obrany, 102
- mini-SUV, 138
- miniturbína, 268
- mínometná paluba, 293
- Mio, 329

- MIT, 98, 99
- mliečny 76, 79
- mlieko, 76
- množivý reaktor, 163, 165
- Modec, 138
- model, 203
  - auta, 254
  - bicyklu, 259
  - letu, 270
  - Veľkej Británie, 115, 116, 204
  - veterného mlynu, 264
  - vlak, 260
  - výkonu vetra, 263
- modelovanie podnebia, 11
- modem, 68
- môj, 186
- monazit, 166
- monitor, 69
- Moore, Patrick, 161
- morská voda, 93, 162, 166, 172, 174, 176
- morské hĺbky, 61
- morský had, 309
- motivácia, 5
- motorka, 10
- mrazenie, 26
- mraznička, 50
- Mrd, 329
- Mt, 329
- Mtoe, 329
- Mühlhausen, 41, 48
- Murko, 78
- MW (e), 333
- MWp, 333
- MyCar, 137
- mýtus
  - elektrina z vody, 56
  - FV články, 45
  - chodenie, 79
  - jedlo, 79
  - lietadlá by mali letieť pomalšie, 269
  - neutralizácia, 3, 226
  - nízka účinnosť auta, 119
  - obchodovanie s emisiami, 226
  - oveľa účinnejšie nové lietadlá, 132
  - rýchlosť výstavby nových elektrární, 171
  - spoľahlivosť vetra, 201
- nabíjačka mobilného telefónu, 68, 72
- nabíjačka telefónu, 4, 68
- nabíjačka, 68, 69, 72
- nabíjanie akumulátorov, 197
- nabíjanie, 261
- nabíjanie, elektromobilov, 197
- nabíjateľná baterka, 89, 94
- náboženstvo, 197
- nadmorská výška, 272
- nadnárodné chemikálie, 89
- nádrž, 82
- nafta, 31
  - energetická hustota, 199
  - výhrevnosť, 199
- náhrada ropy, 42
- nájomník, 227
- nákladná cestná doprava, 91
- nákladná loď
  - na jadrový pohon, 133
- nákladná loď, 133, 324
  - spotreba energie, 92
- nákladná loď, 91
- náklady na odstavenie JE, 175
- náklady na, 214
  - odstavenie jadrovej elektrárne, 175
  - vietor, 66
  - vietor na mori, 66
  - zbrojenie, 221
- Nanosafe, 137
- Nant-y-Moch, 55
- nápor, 196
- nárast hladiny oceánov, 10, 17
- Národná akadémia vied, 20
- národná spotreba plynu, 200
- Národné laboratórium pre obnoviteľnú energiu, 285
- náš kúsok pomoci, 3
- natankovanie, 44
- názvoslovie, 328
- neaktivista, 8
- nedôveryhodný cudzí štát, 5
- Neftel, A., 19
- nehrdzavejúca oceľ, 325
- neistota, 11
- Nemecko, 21, 33, 34
- nenávisť, 4
- nepresnosť, zámerná, 16
- nepriateľ ľudí, 4
- neutralizácia, 211
- neutralizácia CO<sub>2</sub>, 3, 226, 244
- neutralizácia, 3, 226, 244
- New Jersey, 236
- New Scientist, 4, 19
- Newbery, David, 226
- newton, 259, 328
- Newtonove zákony, 269
- nezmysel, 171
- nezodpovedný žurnalizmus, 8
- nikdy nehovorte, 25
- nikel-kadmiový akumulátor
  - energetická hustota, 199
- nikel-kadmium, 89, 94
- nikel-kovový hybridný akumulátor
  - energetická hustota, 199
- NIMBY, 208
- nízka tepelná hodnota, 31
- nízko kvalitná energia, 39
- nízko-obohatený urán, 102
- nižiny, 55
- Nórsko, 63, 84, 136, 190, 197, 219, 312
- North Hoyle, 64, 268
- nos, 296
  - nosenie svetra, 205
- Nové Mexiko, 182
- Nový Zéland, 264
- nozdra, 296
- NS Savannah, 133
- O'Leary, Michael, 36
- obchod, 88
- obchodovanie s emisiami, 217, 226
- obilie, 286
- objem, 24, 331, 332
  - jednotky, 332
- oblačnosť, 38
- oblačný deň, 45
- obnoviteľná energia
  - certifikát záväzkov, 66
  - výskum a vývoj, 221
- obnoviteľné zdroje, prerušovanosť, 186
- obojsmerná výroba, 311
- obrovský vysávač, 244
- obrúč, 263
- Ocean Power Delivery (spoločnosť), 309
- oceán, 81
  - ťažba uránu, 165
- oceánsky výmenník tepla, 162, 242
- oceľ, 89, 94, 325
- odhad, 264
- odpad jedla, 43, 48, 219
- odpad, 145
- odpad jedla, 48
- odpadové teplo, 145
- odpor verejnosti, 250
- odpor vzduchu, 118
- odsoľovanie, 92, 93, 310
- oheň, elektrický, 51
- Okinawa, 194
- o-km, 118
- okno, 294
- olivín, 246
- Olkiluoto, 216
- olovený akumulátor
  - energetická hustota, 199
  - účinnosť, 202
- omyl, *pozri* aj mýtus
  - Limitov rastu, 174
- Orkneje, 82, 268
- orliak morský, 63
- orol, 63
- ortuť, 58
- oslava cestovania, 4
- osobo-kilometer, 118
- ostrov
  - jadrový, 174
- Ottov cyklus, 136
- Out of Gas, 2
- ovce, 78
- ovládateľný, 280
- ovos, 286
- oxid thóričitý, 166
- oxid uhličitý, 19, 20



- ekvivalent, 11
- klimatická zmena, 5
- skleníkový efekt, 5
- údaje 6, 9
- oxidy dusíku, 36
- Oxygen Cargo (elektrický skúter), 138
- Oyster, 310
- ozdobnica, 43, 48, 205, 283
- ozón, 36
- p, 333
- palec, 329, 333
- palivo
  - energetická hustota, 29, 199
  - výhrevnosť, 29, 199
- palivové drevo
  - energetická hustota, 199
  - kalorická hodnota, 199
- palivový článok
  - autobusu, 130
- priamy uhlík, 158
- papier, 3, 89, 95, 284, 322
- parabolický žlab, 178
- parfum, 219
- parný stroj, 6, 9
- partizánska fyzika, 31
- pasenie, 78
- Pasívny dom, 298
- pálená tehla, 325
- pedant, 31, 65
- Pelamis, 74, 208, 309
- perióda, 307
- pes, 78
- PET
  - zabudovaná energia, 94
- petagram, 329
- Pg, 329
- Phoenix SUT, 138
- pilot, 277
- pinta, 331, 332
- pirohy, 91
- plán D, 207
- plán E, 211
- plán G, 210
- plán L, 209
- plán M, 214, 216
- plán N, 208
- plán, 163
- planéta Dorkon, 29
- planéta, 10
  - zničenie, 68
- plast, 88, 325
- plátok mäsa 77, 79
- plavidlo, 279
- pláž, 307
- plechovka, 89
- plechovka, hliníková, 89
- plocha na osobu, 32, 338–341
- plocha, 55, 332čelná, 119
- plošina Magnus, 63
- plutónium, 101, 102
- plyn, 206
  - metán, 287
  - skládkový, 287
  - spotreba krajiny, 200
- plynný obal, 166
- plynomer, 334
- plynové potrubie, 62
- plynovod, 219
- plytká voda, 310
- pneumatika, 258
- pobrežie, 65, 74
- počet áut, ktoré prestanú jazdiť po uliciach, 330
- počítač, 68, 69, 89
  - výroba, 94
- podlahové vykurovanie, 151
- pohár čaju, 331
- pohár, 332
- pochopenie, 16
- poistenie, 217
- pokojné počasie, 186
- polícia v Jersey, 138
- politika, 203
- polotvrdá drevovláknitá doska, 325
- poľnohospodársky odpad, 206
- pomaranč 96
- pomer výťažku energie, 41, 42
  - solárnej FV, 41
  - vetra, 42
- pomer zdvihu ku ťahu, 273, 278
- ponorka, 281
- populačný rast, 7, 9, 115
- Porritt, Jonathon, 2
- posledná vec, 240
- posuvná strecha, 132
- potenciálna energia, 307
- pouličné svetlá, 59
- povedať nie, 108
- Powergen, 342
- pozinkovaná oceľ, 325
- pozitívna spätná väzba, 243
- ppm, 248
- prasa, 77
- prášková sadrová omietka, 325
- pravda, 68
- prečerpávací vodná elektrárň, 86, 189, 191, 192, 210
- predseda vlády, 3
- preglejka, 325
- preklad, 368
- premena energie, 103
- premena jednotiek, 334
- prenos, 209
- prenosové vedenie, 211
- prerušovanosť, 62
- Prestatyn, 64
- prezentácia
  - zavádzajúca, 4, 171
- prezident Dwight D. Eisenhower, 100, 133
- priama normálna ožiarenosť, 180
- priamy uhlíkový palivový článok, 158
- Priatelía Zeme, 19
- priehrada Severn, 85
- priehrada, 55
- priemerné cestovanie, 30
- priemerné rýchlosti vetra, 32
- priemerný Brit, 30
- priemyselná revolúcia, 6, 9
- priepustnosť, 141, 291, 293, 294
- prikrývka, 10
- prílív a odliv, 82, 237
  - ako vlny, 311
  - v oceánoch, 81
  - v porovnaní s vetrom, 86
  - vysvetlenie, 81
  - výroba dvoma spôsobmi, 311
  - zdroj vo Veľkej Británii, 321
- prílív je ako vietor, 315, 316
- prílívová elektrárň, 206
- prílívová energia, 82, 86
  - dve nádrže, 320
- prílívová lagúna, 85, 206, 211, 321
- prílívová priehrada, 206
- prílívové vlny, 83
- prílívový bazén, 82
- Primátor Londýna, 72, 154
- princíp znižovania a zblížovania, 15
- Prius, 126, 136
- projektor, 70
- propán
  - energetická hustota, 199
  - výhrevnosť, 199
- proso, 49, 284
- protiprúdový výmenník tepla, 296
- prúd, 84
- ps, 333
- PS10, 184
- pšenica, 286
- púšť, 178
- PVC, 325
- pyramída, 332
- QE2, 128
- quad, 331
- Queen's University v Belfaste, 310
- radiátor, 51
- rádio, 70
- rádioaktívne žiarenie z uhoľných elektrární, 168
  - rádioaktívny rozpad, 96
- rádio-budík, 70
- raketoplán, 219
- Rance, 85
- ranč, 42
- Range Rover, 128
- Rapley, Chris, 115
- rastliny
  - C3, 49

- C4, 49  
 účinnejšie, 49  
 Rau, Nick, 19  
 RAV4, 138  
 reaktor, 167  
   rýchly množivý, 163  
 recyklovanie, 88, 206  
   údaje, 207  
 reklama na odpad, 88  
 reklama podporujúca konzum, 4  
 rekord,  
   let, 277  
 rekuperačné brzdenie, 125  
 repka olejnatá, 283  
 reportéri, 68  
 RĚVA, 127  
 reverzná osmóza, 92, 93, 196, 310  
 režim standby, 69  
 riadenie laminárneho prúdenia, 274  
 riadenie spotreby, 189, 196, 197  
 riadenie, 79  
 riasy, 284, 285, 288  
   na biopalivo, 285  
   na vodík, 285  
 rieka, 145  
   urán, 165  
 Rijndam, 133  
 ROC, *pozri* certifikát záväzkov  
 Rolls Royce, 37  
 ropa zo Saudskej Arábie, 9  
 ropa, 206  
   cena, 5  
   Severné more, 5  
 ropa, 4, 6, 7, 15, 17, 206  
   ťažba, 5  
 ropná plošina, 64  
 ropná veža, 60  
 ropné elektrárne, 5  
 ropné pole, 64  
 ropný magnát, 10  
 Rosemanowes, 98  
 rotor, 267  
 rovník, 38  
 Royal Albert Hall, 332  
 rozhrešenie, 3  
 rozmanitosť, 207  
 roztavená soľ, 178  
 Rubbia, Carlo, 166  
 rúra, 50, 51  
 Rusko, 21, 133, 237  
 Ryanair, 36  
 rybník, 74  
 ryby, 137  
   rýchlo rastúci porast, 49  
   rýchlosť poklesu, 188  
   rýchlosť prílivu, 82  
   rýchlosť straty tepla vedením, 290  
   rýchlosť vetra  
     v Cairngorm, 32  
     v Cambridgei, 32, 34  
     údaje, 265  
   rýchlosť vlny, 82  
   rýchlosť, 263, 307  
   rýchly množivý reaktor, 162, 163  
   s jedným prechodom paliva, 162  
   sadra, 325  
   sadrokartón, 325  
   Sahara, 178  
   Saint-Malo, 85  
   salinita, 242  
   Salter, Stephen, 135  
     kačka, 309  
   San Francisco, 120  
   Sandia National Laboratories, 99  
   Saudská Arábia, 6, 177, 220, 338  
   Sauven, John, 19  
   Savannah, 133  
   SAX-40, 37  
   Scaled Composites (prostriedok Stevena Fossetta), 277  
   Scroby Sands, 268  
   sekunda, 328  
   sekvestrácia, 157, 240  
   SELCHP, 216, 287  
   Severná Amerika, 234  
   severné Írsko, 85  
   Severné more, 73, 82, 83  
   Seville, 184  
   sexy osobnosti, 205  
   Shadowfax, 78  
   Shell UK, 60  
   Shell, 66, 219  
   Shetlandy, 268  
   Shockley–Queisserov limit, 47  
   Schwarzenegger, Arnold, 130  
   SI, 328  
   Sibír, 243  
   Siegenthaler, Urs, 19  
   Sinclair C5, 66, 127  
   Sizewell, 167  
   Skeptický ekolog, 2  
   skeptik, 6, 8  
   skladať, 22  
   skládka odpadu, 43, 88, 206, 207  
   skládkový plyn, 287  
   skleníkový efekt, 5, 10  
   skleníkový plyn, 10  
   sklenená vata, 325  
   sklo, 88, 325  
   skokový príliv a odliv, 81, 84  
   slama, 96, 288, 325  
   slaná voda, 92  
   sliz, 285  
   slniečny svit, 38, 44  
   slniečne svetlo, 243  
   slniečne svetlo, 38  
     údaje 238  
   Slnko, 96  
   sluha, 24, 88  
 Smart Car, 136  
 Smith, James, 60  
 smola, 63  
 sneh, 243  
 Snowdonia, 191, 192  
 sociálne náklady, 23  
 Solarpark, 41, 48, 216  
 Solartres, 184  
 solárna elektráreň, 41, 178  
 solárna fotovoltika, 39  
   najväčšia elektráreň na svete, 48  
   celosvetovo, 41, 48  
 solárna kominová elektráreň, 182  
 solárna tepelná energia, 38, 238  
 solárna termálna elektrina, 184  
 solárne elektrárne, 208  
 solárne tepelné kolektory, 301  
 solárne panely, 39  
   počas zamračeného dňa, 45  
 solárne vykurovanie, 39  
 solárne vzostupné veže, 182  
 solárny bojovník, 40  
 solárny ohrev vody, 205, 238  
 solárny výkon, 38  
   koncentračný, 40  
   parabolické žláby, 178  
 v autách, 131  
 soľ, uskladnenie tepla, 178  
 Solarcentury, 228  
 Solúcar, 184, 216  
 Southampton Geothermal District Heating Scheme, 98, 99  
 spaľovanie  
   odpad, 43  
   účinnosť, 44  
 spaľovanie odpadu domácností, 43  
 spaľovanie odpadu, 26, 43, 206, 207, 212  
   účinnosť, 213  
 spaľovanie, 31  
 spam, 4  
 spánok, 69  
 spätné väzby mimo kontrolu, 243  
 spojenie  
   Anglicko–Francúzsko, 179, 183  
   Island, 183  
   Nórsko, 197, 207  
 spolupáľovanie s biomasou, 211  
 spotreba  
   elektriny 186, 188, 342  
   plynu 200, 343  
   v Európe, 104  
 spotreba ropy, na svete, 284  
 správca, 227  
 sprcha, 50, 51  
 stavebné drevo, 325  
 STE, 184  
 stena, 294  
 stereo, 69  
 Sternova správa, 221, 230  
 Stiglitz, Joseph, 221

- Stirlingov motor, 184  
 Strana zelených, 210  
 Strangford Lough, 85  
 Strathclyde University, 202  
 strážcovia arzenálu, 220  
 stredovek, 108  
 stromy, 43, 49, 284  
     umelé, 249  
 Sudán, 177, 338  
 sulfid lítny, 202  
 súostrovie Scilly, 83  
 superjumbo, 132  
 surové železo, 9  
 sušenie šiat, 51  
 sušička, 51  
 súťaž v plytvaní energie, 68  
 SUV, elektrické, 138  
 svet, 17, 105, 221, 231, 336–338  
 svetlá, na autách, 57  
 svetová spotreba ropy, 284  
 svietiť aj naďalej, 68  
 SWU, 102, 173  
 syr, 76  
 systém riadený urýchľovačom, 166
- šaty, 293  
 šikovnosť, 273  
 Škótsko 64, 83, 192, 198  
     zrážky, 56  
 šou Punch a Judy, 250  
 Španielsko 178, 183  
     vietor, 201  
 štadión, 307  
 štvorec na púšti, 178, 236  
 Švédsko 190, 197, 208
- Team Crocodile, 119  
 tehla, 325  
 technológia, 115  
 tekutá soľ  
     uskladnenie energie, 178  
 tekuté palivá  
     z rastlín, 283  
 telefón 68  
 televízia, 68, 103  
 televízne nápor, 196  
 tepelná hmota, 305  
 tepelná kapacita, 50, 302  
 tepelná priepustnosť, 289  
 tepelná vodivosť, 302  
 tepelné čerpadlo, 26, 52, 205, 300, 301  
     využívajúce teplo vzduchu, 52,  
     151, 205  
     zima, 153  
 tepelný stroj, 145  
 teplá voda, 26, 50  
 teplo nízkej kvality, 97  
 teplo, 10  
 teplota, 50  
 teplotná požiadavka, 292
- teplý vzduch, 51  
 termohalinná cirkulácia, 242  
 termostat, 4, 141, 154  
 terorizmus, 4  
 Tesco, 219  
 Tesla Roadster, 127  
 TEU, 95, 332  
 Texas, 182, 187, 201  
 th, 333  
 Think (auto), 136  
 thórium, 166, 174  
     v uhlí, 175  
     zásoby, 166  
     zdroje, 166  
 tiché lietadlo, 37  
 Tina, 227  
 tinyURL, ix, 344  
 titaničitán barnatý, 199  
 titaničitán lítny, 137  
 Titanik, 68, 69  
 t-km, 118  
 tlačiareň 70  
 tlak, 273  
 TNT, 101  
 toaleta, 92  
 tok slnečného žiarenia, 38  
 tok tepla, 97  
 tok, 24, 84  
 tona, 331  
 tono-km, 118  
 topof, 205, 283  
 tovar, 88  
 Toyota Prius, 136  
 Toyota RAV4 EV, 138  
 Trajekt, 120  
 transformátor, 69  
 tráva, 42  
 trenie pri slapových javoch, 96  
 TREV, 138  
 Trident, 221  
 trojité sklo, 141  
 trojkolka, 138  
 trolejbus, 120  
 trópy, 49  
 trubica, 270, 272  
 trubica vzduchu, 255  
 trvalo udržateľná energia  
     environmentálne náklady, 23  
     sociálne náklady, 23  
 trvalo udržateľné uhlie, 158  
 trvalo udržateľný  
     definícia, 157  
 tučný znamená 6 000 m/s, 277  
 tuhý komunálny odpad, 207, 284  
 turbína, 145  
 turbovrtuľa, 35, 128  
 turbovrtuľové lietadlo, 35  
 tvrdá drevovláknitá doska, 325  
 tvrdé drevo, 284, 325
- ťah, 118  
 ťažbauhlia, 158, 161  
 ťažba uhlia na svete, 7  
 ťažba uránu, 165, 174
- U*-hodnota, 289, 294  
 uhlie kralúje, 8  
 uhlie na svete, 6, 7, 9  
 uhlie, 8, 94, 206, 284  
     ako zdroj rádioaktivity, 168  
     bane, 208  
     britské zdroje, 6  
     čisté, 203, 212  
     dovoz, 343  
     elektrárne, 5, 157, 330  
     energetická hustota, 199  
     náhrada, 42  
     obsahuje urán a thórium, 175  
     odstávky elektrární, 342  
     produkcia, 6, 343  
     ťažba, 158, 161  
     Veľká Británia, 158  
     výhrevnosť, 199  
 uhlíková cena, 211  
 uhlíková daň, 331  
 uhlíková intenzita, 322  
 uhlíková neutralizácia, 3, 211, 226, 244  
 uhlíkový offset, 3, 226, 244  
 uhlíkový palivový článok, 158  
 uhľovodík, 17, 28, 41, 74  
 uhľovodík, 29, 31  
 umelé stromy, 249  
 umývanie riad, 50, 51  
 umývanie šiat, 50, 51  
 umývanie, 51  
 Univerzita Cambridge, 298  
 univerzita Delaware, 47  
 upchávajúce dutín v stenách, 142, 295  
 upíry, výkon, 155  
 urán, 101, 166, 206  
     cena, 165  
     ťažba z morskej vody, 165, 174  
     v uhlí, 175  
     vyčerpaný, 163  
     zásoby, 2, 162  
 URL, *pozri* internetový odkaz  
 USA, 99, 234  
     obilie, 49  
 uskladnenie  
     kinetická energia, 198  
     roztavená soľ, 178  
 uskladnenie kinetickej-energie, 198  
 uskladnenie CO<sub>2</sub>, 157, 240  
     spoluspaľovaním, 212  
     spoluspaľovaním biomasy, 211  
 USS Akron, 280  
 uzol, 84
- účinnosť 49, 191, 201  
 legislatíva, 153

- účinnosť, 115, 191, 201
  - elektrární, 49
  - možnosti zlepšenia, 23
  - popletená s výkonom, 47
  - solárnych panelov, 47
  - spaľovania, 44
  - účinnnejšie lietadlá, 37
  - zlepšenia, 42
- údaje
  - cena ropy, 5
  - dochádzanie 30, 127, 136
  - dopyt po plyne, 200
  - dovoz, 323
  - dovoz uhlia, 343
  - elektrina z vody, 343
  - elektromobil, 127
  - emisie, 15
  - emisie áut, 136
  - emisie skleníkových plynov, 336
  - fosílna palivá, 343
  - fotovoltaika, 40
  - G-Wiz, 127
  - HDP, 105, 231, 336
  - hlbka morí, 58
  - hlbka vôd, 58
  - hlbky, 61
  - hustota populácie v mestách, 152
  - intenzita palív, 335
  - Island, 97
  - jadrová energia, 343
  - jadrová energia podľa krajiny, 161
  - kapacita výroby elektriny, 342
  - koncentrácia CO<sub>2</sub>, 6, 9
  - krajiny, 338
  - nákladná loď 92
  - nedostatok energie, 342
  - odpad, 207
  - odstavenie elektrární, 5
  - populácia, 9, 338
  - prečerpávacie elektrárne, 201
  - recyklovanie, 207
  - rozloha, 338
  - skládka, 207
  - slnecnosť, 38, 44, 238
  - spaľovanie 207
  - spotreba elektriny, 342
  - spotreba energie, 105, 231, 337
  - spotreba plynu, 343
  - spotreba ropy, 284
  - spotreba tepla, 141
  - uhlíková intenzita výroby elektriny, 335
  - uhlíková intenzita palív, 335
  - veterná energia v oceánoch, 64
  - výroba elektriny, 342, 343
  - výroba ropy, 5–7, 9
  - valivý odpor, 258
  - vietor
    - Cairngorm, 32
    - Cambridge, 32, 34
    - Írsko, 187
    - výhrevnosti, 284
    - výkyvy výkonu vetra, 188
      - drevo, 284
    - výroba slamy, 286
    - výroba uhlia, 6, 7, 9, 343
    - výška, 55
  - úrad pre reklamné štandardy, 118
  - úrad pre vyradovanie JE, 167, 175
  - úspora energie, 26
  - úspora veľkovýroby, 34
  - úsporná žiarovka, 58
  - úsporné, lietadlo, 36
  - ústie Severn, 84
  - ústie Temže, 64, 82, 83
  - útes Horns, 61, 65
  - útes, 11
- Vader, Darth, 68
- váha, 59
- Valentia, 312
- valivý odpor, 258
- Vancouver, 120
- varenie, 50, 207
- varič, 50, 51
- včlenená, 89
- Vectrix, 138
- vegán, 77
- vegetarián, 4, 77
- vegetariánstvo, 78
- Veľká Británia, 17, 21, 93
  - spotreba elektriny, 186, 188, 342
  - teritoriálne vody, 60
  - uhlie, 6, 7, 9
  - vysočiny, 55
  - výroba elektriny, 342, 343
  - zrážky, 55, 56
- Venturi Fetish, 138
- verejná doprava, 204
- vesmírna loď, 29, 255
- Vestas, 64
- veterná elektrárňa Whitelee, 33
- veterná elektrárňa, 32, 214
- veterná turbína, 34
- veterný mlyn, 267
  - pod vodou, 83
- vetranie, 289, 296
- viacprechodové FV články, 47
- zabudovaná energia, 89, 94, 95
  - auta, 94, 324
  - budovy, 326
  - dreva, 325
  - hliníku, 94
  - horniny, 325
  - kovu, 325
  - oceli, 94
  - papiera, 95
  - PET, 94
  - skla, 325
  - stavebných materiálov, 325
  - vody, 95
- vidiek, 208
- vietor, 187
- vietor, 32, 210, 235, 307
  - argumenty proti, 187
  - cena, 66
  - koncentrácia výkonu, 60
  - London Array, 66
  - mikroviator, 63, 66
  - na mori, 60
  - pôvod, 73
  - prerušovanosť, 187
  - údaje, 32, 34, 187, 265
  - v hlbokých moriach, 61, 66
  - v Írsku, 188
  - v porovnaní s prílivom, 86
  - v Španielsku, 201
  - vír, 270
  - vysokozdvížné nákladné lode, 63, 208, 21
- vietor na mori, 60, 64
  - faktor využitia, 268
  - hlbka, 60
  - náklady, 66
  - údaje, 64
  - v hlbokých moriach, 60, 66
  - v plytkých moriach, 60
  - vysokozdvížné nákladné lode, 63, 208, 21
- Virgin Trains, 330
- Virgin, 277
- Viridian Solar, 39
- vírivý vzduch, 255
- viskóznosť, 309
- vlak, 118–120, 128, 258–260
  - nákladný, 92
- vlastné obnoviteľné zdroje, 300
- vlažný, 26
- vlhký, 296
- vlna, 73, 307, 308
  - ako príliv, 311
  - ako zdroj, 73
  - hlbokomorská, 307
  - mexická, 307
  - v plytkých vodách, 312
  - vytvorená loďami, 92
- vlnová dĺžka, 307
- vlnová elektrárňa, 74
- voda, 24, 36, 50
  - cena, 92
  - odsoľovanie, 92
  - prečerpávanie, 92
  - plytká, 310
  - teplá, 50
  - zabudovaná energia, 95
- vodcovstvo, 230
- vodík, 130, 285
  - a bór, 202
  - a veterná energia, 195
  - energetická hustota, 199
  - energetické náklady, 139

- lietadlo, 277
- účinnosť uskladnenia, 196
- výhrevnosť, 199
- výroba z jadrovej energie, 174
- z baktérií, 42
- z rias, 285
- vodivosť, 303
- vodná para, 73
- vodný skúter, 128, 130
- vojna, 100
  - v Iraku, 221
  - proti drogám, 219
- Volkswagen, 255
- volt, 50
- vozidlá na vodík, 195
- vozidlo
  - do siete, 198
  - elektrické, 127
- VRB systémy, 200
- vrba, 205, 283
- vrstva (kurčaťa), 77
- vták, 269
  - formácia lietania, 270, 278
  - najdlhší let, 277
  - rozsah, 276
  - rýchlosť, 272
  - teória, 269
- vtáky a veterné turbíny, 63
- vyhladkový balón, 325
- výkon 24
  - definícia, 24
  - solárnej energie na svete, 41, 48
  - slniečného žiarenia, 38
  - v pohotovostnom režime, 155
  - vetra a elektromobily, 195
  - vody, 55
  - zamieňaný s účinnosťou, 47
- výkon na jednotku dĺžky
  - prilivu a odlivu, 83, 312
  - vlny, 74
- výkon na jednotku plochy, *pozri* koncentrácia
- výkonové číslo, 147, 154, 292, 300
- výkyvy, 186, 205, 210
- výletná loď, 88
- výmena akumulátorov, 261
- výmenník tepla, 297
- výmenník tepla, oceán, 242
- výmenný kurz, 27
- vyzni, 72, 154
- vyradenie elektrárne z prevádzky, 217
- vyradenie jadrovej elektrárne, 175
- výroba elektriny, 343
  - z vody, 343
- výroba ocele, 62
- výroba s dvojitým efektom, 311
- výroba, 68, 94, 131
- výrobky, 13, 68, 88
- vysávač, 71
  - obrovský, 244
- výskum a vývoj, 221
- výslovnosť, 328
- vysočiny, 55
  - zrážky, 55
- vysoká tepelná hodnota, 31
- vysoko obohatený urán, 102
- výška letu, 277
- výťažok rastlín, 48, 283
- výťažok, 48
- vývoz zbraní, 220
- vzdialenosť, 73
- vzduch
  - horúci, 51
  - spotreba energie, 92
- vzducholoď, 280
- vzoreckinetickej energie, 30
- vlny, 307
- vzostupné solárne veže, 182
- vždy zapnuté, 96
  
- W (e), 333
- Wales, 55, 60, 64, 78, 191, 268
- Wartsila–Sulzer, 262
- watt, 68, 328
- Watt, James, 6, 9, 328
- Wavegen, 75
- Weetabix, 42
- Weier, Sven, 72
- Wellington, 264
- Wembley, 332
- White, David J., 60
- Whitstable, 60
- Whorf, T. P., 19
- Wicks, Malcolm H., 111
- Windermere, 192
- Windsave WS1000, 66
- Woodbridge, 82
- Wp, 333
- Xebra, 137
- Yamal, 133
  
- zábavná elektronika, 69
- zabezpečenie proti prievanu, 132, 289
- začarovaný kruh, 243
- záhrada, 147
- zachraňovanie Titanicu, 68
- zachytávanie a ukladanie CO<sub>2</sub>, 157, 240
- zachytávanie uhlíku, 212
- zámerná nepresnosť, 16
- zamračený deň, 45
- zápcha dopravná, 124
  - zdanenie, 135
- zapnutelné a vypnutelné, 186
- zasklenie, 294
- zasklenie, dvojité, 141
- zásobovanie zelenou energiou, 131
- zástrčka, 50
- zateplenia podkrovia, 141
- zavádzajúca reklama, 126
- zavádzajúca prezentácia, 171
- závislosť, 203
- zavlažovanie, 43
- závodná loď, 130
- záznam letu, 277
- záznam plynomeru, 334
- záznamník, 70
- zbrane, 221
- zdanlivý výkon, 72
- zdvižná nákladná loď, 63, 67, 207, 216
- Ze-0, 137
- zelené riasy, 285, 288
- zem, 10, 81, 325
  - rozloha 332
- zemný plyn, 206, 287
  - zmeny v spotrebe, 200
- zeppelin, 280
- zima
  - tepelné čerpadlá, 153
- získať budovu, 250
- zjednodušenie, 16
- Zlá situácia, 10
- zlepšené
  - získavania geotermálnej energie, 98
- zlo, 68
- zlom jadra, 2
- zlom ropy, 2, 5, 19
- zlom, 267
- zmätenie
  - výkon a energia, 24
  - výkon a účinnosť, 47
- zmena teploty, 301
- zmena životného štýlu, 141
- zmeny v spotrebe energie, 186, 200
- zmeny vzduchu, 289, 296
- značka stop, 255
- znečistenie, 58
- znečisťovateľ platí, 14
- zníženie populácie, 4, 115
- zo vzduchu, 240
- zosilňovač 70
- zotrvačník, 56, 198
- zrážky, 55
- zrkadlo, 40
- zvrásnenie, 82
- žiarovka, 58
  - klasická, 58
  - LED, 58
  - nízko energetická, 58
  - úsporná, 58
- životný cyklus tovaru, 88
- žula, 325
- žurnalista, 139
- žurnalizmus, zlý, 8



Autor, júl 2008  
Fotografia: David Stern

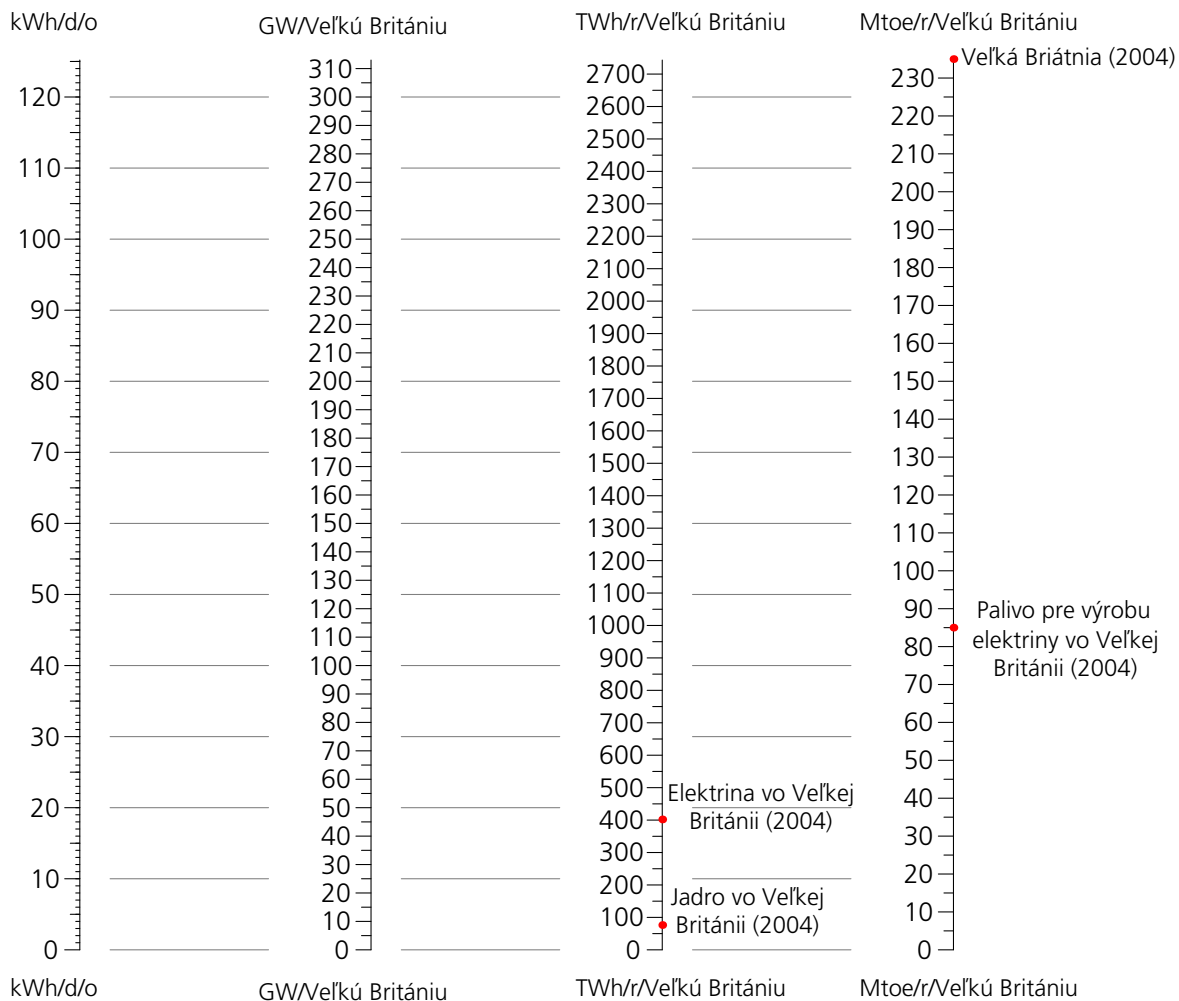
## *Obnoviteľné zdroje energie - s chladnou hlavou David J. C. MacKay*

### **O autorovi**

David MacKay je profesor na Fakulte fyziky na Univerzite v Cambridgei. Tu vyštudoval prírodné vedy a titul PhD získal z počítačových a neurónových systémov na Kalifornskom technickom inštitúte (CalTech). Do Cambridgea sa vrátil ako člen výskumu Kráľovskej spoločnosti na Darwin College. Je medzinárodne uznávaný pre svoj výskum v oblasti strojového učenia, teórie informácie a komunikačných systémov, vrátane vynálezu rozhrania Dasher, programu, ktorý umožňuje účinnú komunikáciu v akomkoľvek jazyku s akýmkoľvek základom. Na univerzite v Cambridgei učí fyziku od roku 1995. Od roku 2005 venoval väčšinu času verejným prednáškam o energii. Je členom Kráľovskej spoločnosti.

Deväť mesiacov po vydaní titulu „Obnoviteľné zdroje energie – s chladnou hlavou“ bol David MacKay vymenovaný za hlavného vedeckého radcu Ministerstva energetiky a klimatickej zmeny Veľkej Británie.

## Konverzná tabuľka výkonu



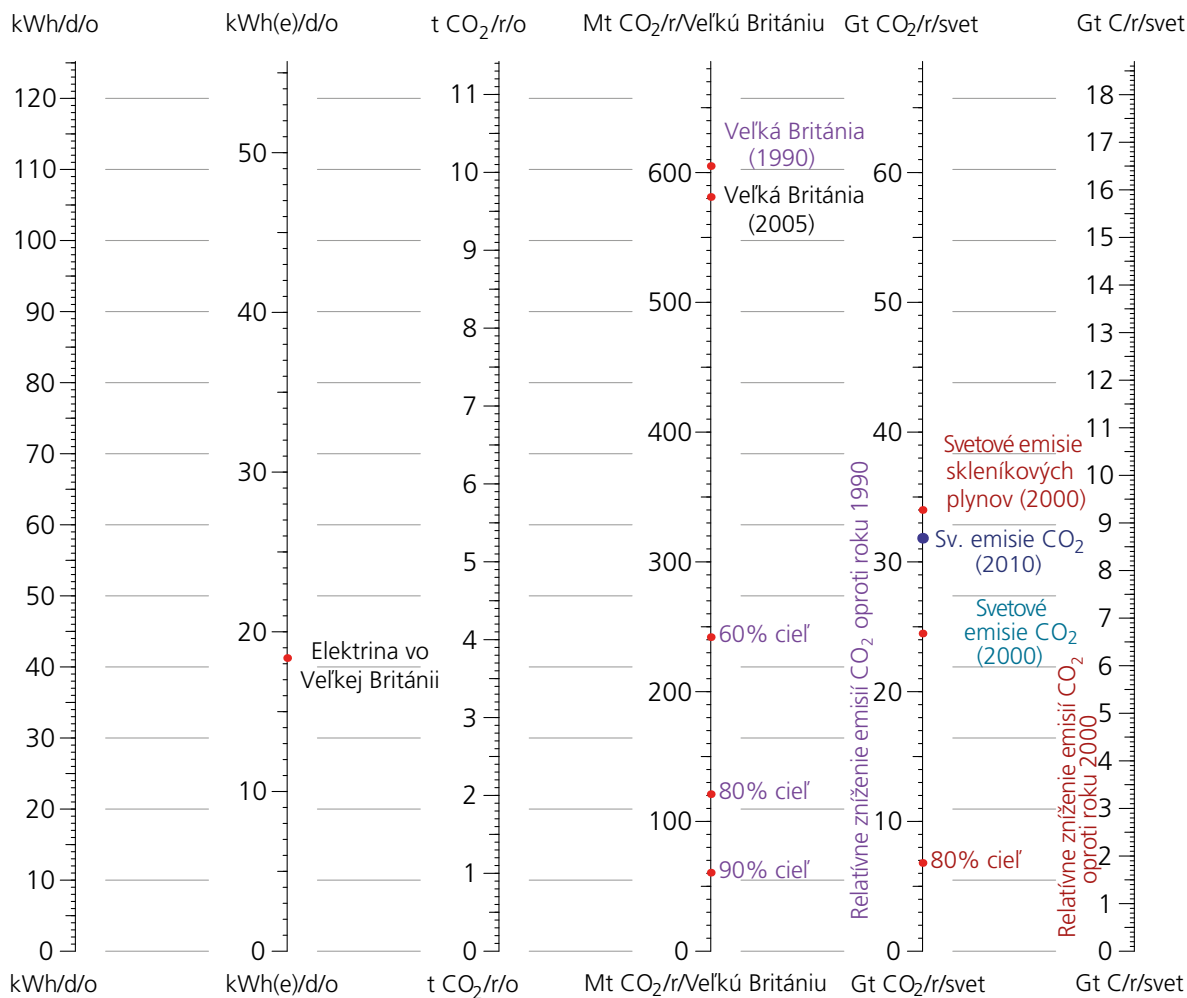
1 kWh/d to isté ako 1/24 kW  
 „Veľká Británia“ = 60 miliónov ľudí  
 GW často sa používa pre „kapacitu“ (max. výkon)  
 TWh/r často sa používa pre priemerný výkon  
 1 Mtoe „jeden milión ropného ekvivalentu“

Spotreba energie v USA: 250 kWh/d na osobu  
 Spotreba energie v Európe: 125 kWh/d na osobu

Najčastejšie jednotky výkonu, ktoré sa používajú vo verejných dokumentoch, sú:

Terrawatthodiny za rok (TWh/r). 1 000 TWh/r vo Veľkej Británii sa zhruba rovná 45 kWh/d na osobu.  
 Gigawatty (GW). 2,5 GW vo Veľkej Británii je 1 kWh/d na osobu.  
 Milióny ton ropného ekvivalentu za rok (Mtoe/r). 2 Mtoe/r vo Veľkej Británii je zhruba 1 kWh/d na osobu.

## Konverzná tabuľka oxidu uhličitého



kWh pomer premeny chemickej energie:  
 1 kWh  $\longleftrightarrow$  250 g CO<sub>2</sub> (ropa, benzín)  
 (pre plyn, 1 kWh  $\longleftrightarrow$  200 g)

„Veľká Británia“ = 60 miliónov ľudí

kWh (e) *elektrina* je nákladnejšia:  
 1 kWh(e)  $\longleftrightarrow$  445 g CO<sub>2</sub> (z plynu)  
 (z uhlia je to dvojnásobne viac)

„Svet“ = 6 miliárd ľudí

t CO<sub>2</sub> tona CO<sub>2</sub>

Mt C milión ton uhlíku





*Obnoviteľné zdroje energie – s chladnou hlavou*  
David J. C. MacKay

Z anglického originálu Sustainable Energy  
- without the hot air, ktorý vyšiel vo vydavateľstve  
UIT Cambridge Ltd., 2008, preložil Alexander Ač

Vydavateľ slovenského prekladu:  
Slovenská inovačná a energetická agentúra  
Bajkalská 27, 827 99 Bratislava 27, Slovenská republika  
e-mail: [poradenstvo@siea.gov.sk](mailto:poradenstvo@siea.gov.sk)  
[www.siea.sk](http://www.siea.sk)

2. tlačené vydanie, 2013

ISBN 978-80-88823-54-4





**David J. C. MacKay**

Napísať pútavý text o energetike pre široké publikum nie je jednoduché. Profesora fyziky na Univerzite v Cambridgei, Davida J. C. MacKaya, k tomuto rozhodnutiu priviedla nespokojnosť s odbornou úrovňou debát medzi britskými politikmi, ktorí prijímajú rozhodnutia o energetickej bezpečnosti.

V knihe sa preto venoval najmä téme, čo možno pokladať za reálne pri využívaní obnoviteľných zdrojov energie. Návod, ako odlíšiť opatrenia, ktoré prinesú skutočné úspory energie od tých, ktoré sú iba stratou času, zaujal nielen vysokopostavených energetických laikov. Kniha, sprístupnená v roku 2009 aj bezplatne na internete s množstvom aktívnych odkazov na súvisiacu literatúru, si našla široké publikum. Autor sa po vydaní Obnoviteľných zdrojov energie – s chladnou hlavou stal hlavným vedeckým poradcom na Ministerstve energetiky a klimatickej zmeny Veľkej Británie. Jednou z jeho úloh je „pomôcť každému rozlíšiť, aký je rozdiel medzi kilowattom a kilowatthodinou“.

Každý, kto si knihu prečíta, však bude nepochybne vedieť oveľa viac...



**EURÓPSKA ÚNIA**  
EURÓPSKY FOND REGIONÁLNEHO ROZVOJA  
INVESTÍCIA DO VAŠEJ BUDÚCNOSTI



OPERACNÝ PROGRAM  
KONKURENCIESCHOPNOSŤ  
A HOSPODÁRSKY RAST

