

## Veličiny a jednotky související s prací, teplem a energií

*Energie* je veličina tzv. stavová, tj. popisuje stav nějakého systému. Mluví se např. o kinetické energii (tu lze spočítat dle formule  $E = \frac{1}{2}mv^2$ , kde  $m$  je hmotnost částice a  $v$  velikost její rychlosti v dané vztažné soustavě), konfigurační energii (dané vzájemnou polohou a přitahováním částic, např. planet a Slunce, nebo vody ve visuté nádrži a zbytku Země; méně výmluvně se hovoří o potenciální energii). Tajemnější je pojem vnitřní energie, který spadá do složité disciplíny zvané termodynamika. Při stálém složení nějaké soustavy (pokud jde o neměnné molekuly) je vnitřní energie oné soustavy úměrná její teplotě. Pokud ze soustavy odebíráme teplo, její vnitřní energie i teplota klesá. V termodynamice se používá ještě několik obdobných veličin, pro řadu soustav se např. hodí veličina zvaná entalpie.

Energie nějaké soustavy se změní tehdy, pokud na soustavě konáme *práci* (třeba i zápornou, tj. ona koná práci na okolí), nebo když jí dodáváme *teplo*. Změna energie je dána jednoduše součtem práce a tepla – ty se proto měří ve stejných jednotkách jako energie, i když nepopisují stav systému, ale vlastně úhrn nějakého procesu.

O práci mluvíme tehdy, když změnu energie, kterou působí, můžeme vyjádřit jako součin veličin, obvykle síly a posunutí, či tlaku a změny objemu, nebo konečně jako součin napětí, proudu a času. O teple mluvíme tehdy, když se takto jako součin jiných měřitelných veličin vyjádřit nedá. Teplo popisuje procesy, v nichž se odehrává spousta „mikroprací“, tj. srážek jednotlivých částic, které přímo nemůžeme sledovat.

Základní jednotkou všech těchto tří veličin je *joule* se značkou J. Ten se rovná práci vykonané při posunutí něčeho silou jednoho newtonu o jeden metr (přesněji, jde o složku síly vynakládanou ve směru posunování, pro případ, že tlačíme poněkud jiným směrem). Zhruba tedy při zvednutí decilitru vody o metr výše (to proto, že decilitr má tíhu asi ten 1 N). Proteče-li turbínou krychlový metr vody o jeden metr níže (a přitom se jeho pohyb nezrychlí ani nezpomalí), vykoná přitom na turbíně práci skoro deset kilojoulů, 10 kJ (ve skutečnosti trochu menší, voda se třením o turbínu a potrubí taky trochu ohřeje), pokud je rozdíl výšek deset metrů, pak může jít téměř o 100 kJ.

Jinou, starou jednotkou je *kalorie*. Ta byla definována jako teplo, potřebné k ohřátí gramu vody o jeden stupeň (Celsiův, tedy o jeden kelvin). Přepočten na jouly je dán tzv. měrným teplem vody, které činí 4,2 J/(g.K), o chlup víc než čtyři jouly na gram a kelvin. Jedna kalorie je tedy 4,2 J (jde to vyjádřit i přesněji, ale to většinou není podstatné a záleží na tom, při jaké teplotě se bere specifické teplo vody; „moderní“ definice kalorie je 4,1868 J). Kalorie se dřív používaly tam, kde šlo o teplo, třeba o to, které šlo získat oxidací sacharidů, bílkovin a tuků, které za den sníme.<sup>1</sup> Je užitečné si pamatovat, že *za den potřebujeme sníst potravu, ze které by šlo získat téměř deset megajoulů*. Pozor na jednu záludnost, v zahraničních zdrojích se dosud na obalech potravin apod. slovo kalorie používá, ale aby to nevzbuzovalo v konzumentech hrůzu, tak se jím označuje ve skutečnosti energie jedné kilokalorie (v této klamavé notaci má člověk za den zkonsumovat asi 2500 „Kalorií“, ve skutečnosti kilokalorií). Takže reklama říká třeba, že daný bonbón obsahuje jen „půl Kalorie“, ale ono je to asi pět set kalorií, aneb 2 kJ, padesátina denní potřeby.

### Výkon či příkon

Zejména pokud jde o elektřinu, i dnes se běžně používá (a dále bude používat) jednotka *kilowatthodina*. Abychom pochopili dobře, oč jde, musíme si vyjasnit další veličinu, totiž výkon (v některých situacích se mluví o příkonu). Je to „tempo práce“, základní jednotkou je joule za sekundu, nazývá se též watt. V případě elektřiny je její vyjádření měřitelnými veličinami zvláště snadné, je to součin jednoho voltu a jednoho ampéru. Protéká-li nějakým spotřebičem, třeba velmi silnou lampou, při napětí 240 V proud 4 A, je její příkon téměř jeden kilowatt.

<sup>1</sup>Jde o tzv. *spalné teplo*, spálením by šlo získat totéž, kdybychom vzniklou páru zkonduzovali zpět na tekutou vodu a ochladili; pokud se pára nechá utéci, jde o veličinu nazývanou *výhřevnost*

Za jednu sekundu vykoná elektrická síť na lampě „elektrickou práci“ jednoho kilojoulu (trochu větší elektrickou práci, běžně tak o desetinu, musí na té síti vykonat nějaká turbína, protože se ohřívají také vodiče mezi ní a lampou). Můžeme to ale označit také jako práci o velikosti jedné kilowattsekundy. Taková jednotka je samozřejmě zbytečná, ale pro součin příkonu a delší doby, totiž jedné hodiny, se velmi hodí právě jednotka uvedená výše – pro onu lampu by šlo za jednu hodinu o práci 1 kWh. Přepočítání na jouly je zřejmé: jedna hodina má 60×60 sekund, tedy 3600, a 1 kWh se tedy rovná 3600 kJ, aneb 3,6 MJ. Tento přepočítání je dobré si zapamatovat nebo jej umět kdykoliv znovu odvodit:

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$$

Spočítejme ještě výkon turbíny, přes kterou protéká každou sekundu „jeden kubík“ (rozuměj krychlový metr) vody, přičemž se hladiny nad turbínou a pod ní liší o deset metrů. Už jsme spočítali, že každou sekundu vykoná voda práci 100 kJ, výkon turbíny se tedy může blížit 100 kW. Za den tak proudící voda vykoná práci 24× větší, tedy 2400 kWh (a provozovatel turbíny za to může utržit několik tisíc korun).

A ještě výkon člověka (tempo, kterým předává teplo do svého okolí – musí předávat, jinak se přehřeje a umře): za den to je oněch asi 10 MJ aneb necelé 3 kWh, výkon má tedy v průměru něco přes sto wattů (3 kWh / 24 h), ve dne větší, ve spánku menší. Jako potrava by to pokrylo 0,6 kg suchého dřeva, ale to je nestravitelné, takže může jít o necelý jeden kilogram čerstvého chleba (ten totiž není suchý). Vydatnější je olej, toho stačí čtvrt kila (viz [http://en.wikipedia.org/wiki/Food\\_energy](http://en.wikipedia.org/wiki/Food_energy)).

## Exotické jednotky

V literatuře se lze dále setkat s řadou jednotek exotických, odvozených z nějaké kalorie. Taková je British thermal unit (BTU), což je asi jeden kilojoule. Jednotka „quad“ je americký kvadrilion ( $10^{15}$ ) BTU aneb asi  $10^{18}$  J, jeden exajoule, 1 EJ. Jiné jsou odvozené ze spalného tepla různých paliv (ropy, uhlí), a označují se jako „ton of oil equivalent“ apod. Spalné teplo ropy je asi 42 MJ/kg, čili 42 GJ/t, tedy „toe“ je asi 42 GJ. Obdobně tuna uhelného ekvivalentu „tce“ je asi 29 GJ.

Různé odkazy:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Ton\\_of\\_oil\\_equivalent](http://en.wikipedia.org/wiki/Ton_of_oil_equivalent)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Ton#ton\\_of\\_coal\\_equivalent](http://en.wikipedia.org/wiki/Ton#ton_of_coal_equivalent)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Units\\_of\\_energy](http://en.wikipedia.org/wiki/Units_of_energy)

NIST Guide to SI Units - Appendix B9. Conversion Factors <http://physics.nist.gov/Pubs/SP811/appenB9.html#ENERGY> (celá publikace je dostupná, i jako pdf, ze stránky <http://physics.nist.gov/Pubs/SP811/contents.html>)

V měřítku celých zemí se hovoří o velkých spoustách elektrické práce (zkráceně elektriny, naprosto nesmyslně „elektrické energie“ – takovou veličinu vůbec není možné definovat) nebo tepla (opět, nikoliv tepelné energie, což by starý název pro vnitřní energii) nebo „energie dodané v palivu“ (rozuměj, tepla, které lze uvolnit jeho oxidací). Jde o značné desítkové řády, běžně o deset na patnáctou joulu (jeden petajoule, 1 PJ) či o deset na osmnáctou joulu (exajoule, EJ), obě jednotky se používají velmi běžně. Stejně jako gigawatty nebo terawatty v případě výkonu (např. každý z obou bloků elektrárny Temelína má elektrický výkon 1 GW, tepelný ovšem větší než 2 GW – „Temelín“ hlavně ohřívá vzduch a odpařuje vodu odebranou z Vltavy).

$10^{24}$	yotta	Y
$10^{21}$	zetta	Z
$10^{18}$	exa	E
$10^{15}$	peta	P
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	k
$10^2$	hecto	h
$10^1$	deka	da
$10^{-1}$	deci	d
$10^{-2}$	centi	c
$10^{-3}$	milli	m
$10^{-6}$	micro	u
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	pico	p
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	atto	a
$10^{-21}$	zepto	z
$10^{-24}$	yocto	y

Pro předmět Environmentální aspekty energetiky sepsal J. Hollan, 27. 4. 2006. Další čtení: [http://astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e\\_papers/clanky/energie.htm](http://astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/clanky/energie.htm)  
[http://astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e\\_papers/clanky/enepprac.htm](http://astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/clanky/enepprac.htm)