

## Nízkoenergetický nízkonákladový dům v Brně-Žebětíně

Realizovaný nízkoenergetický dům byl navržen tak, aby jeho provozní energetické nároky činily asi 20 kWh/(m<sup>2</sup>.a) a aby se typově nelišil od běžné výstavby. Dům je postaven z materiálů a technologiemi běžně dostupnými na českém trhu a za cenu prakticky stejnou, jako je cena běžného rodinného domu stejné velikosti a vybavení. Realizovaný dům by měl ověřit rozhodující principy rentabilního nízkoenergetického stavění.

### Parametry domu

Poloha domu nemohla být zvolena libovolně, ale bylo nutno se přizpůsobit územnímu plánu. Jde o lokalitu v zástavbě nových vilek na okraji Brna, orientace štítových zdí je východ-západ. Dům je třípodlažní, lze jej flexibilně rozdělit na 1 až 3 samostatné bytové jednotky. Dům nemohl být podsklepen kvůli vysoké hladině spodní vody.

Architektura domu se snaží nevybočit z běžných zásad a zvyklostí při stavbě rodinných domů se sedlovou střechou. Střešní konstrukce je dřevěná s vestavěným podkrovím. V domě se klade důraz na důsledné potlačení tepelných mostů.

Venkovní rozměry obytné části domu jsou 10 × 12 m a výška po hřebeni střechy je 9 m. Dům má celkovou podlahovou plochu 240 m<sup>2</sup>, poměr A/V je 0,73.

Průměrné koeficienty prostupu tepla jsou:  $U_n = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  pro neprůhlednou část obálky,  $U_o = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  pro otvorové výplně obálky.

### Pasivní opatření pro nízkou energetickou náročnost

1. Důkladná izolace obvodového zdiva – obvodové zdivo je postaveno jako nosné o minimální nutné tloušťce, tj. 25 cm, z voštinových cihel (CDM), zvenku zatepleno 25 cm polystyrenu se stěrkovou omítkou. Obvodové zdivo představuje rozhodující prvek tepelné akumulace domu. První řada veškerého zdiva je vyzděna z pórobetonu, aby byl redukován únik tepla do základů.
2. Důkladná tepelná izolace přízemní podlahy, jejíž skladbu tvoří podlahová krytina, betonová mazanina + podlahové topení + armovací síť, tepelná izolace (20 cm pěnového polystyrenu), hydroizolace, základová deska.
3. Důkladná tepelná izolace šikmé střechy. Prostor mezi krokviemi o výšce 20 cm je vyplněn minerální vatou, navíc je 12 cm minerální vaty nad krokviemi a 5 cm pod krokviemi. Na vnitřní straně střešní konstrukce je důsledná parozábrana.
4. Výplně okenních a dveřních otvorů s vysokým tepelným odporem. Jsou použita dřevěná okna a dveře s následujícími modifikacemi:
  - Okna i dveře jsou osazeny tak, aby pevné rámy lícovaly s venkovním lícem nosné obvodové zdi, a tyto rámy jsou z izolovány spolu s obvodovou zdí.
  - Základní zasklení je provedeno izolačním dvojsklem  $U_w = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Na křídla oken a dveří je navíc zvenku přidáno třetí sklo s tvrdou nízkoemisivní vrstvou osazené v kompozitním rámečku ze dřeva a třicetimetřové vrstvy extrudovaného polystyrenu, který současně zatepluje křídlo okna.
  - Ve vzniklém prostoru mezi skly je meziokenní žaluzie pro efektivní stínění v letních měsících.
  - Pevné části jsou obloženy třicetimetřovou vrstvou extrudovaného polystyrenu a dřevem.



*Postup umístění třetího skla a zateplení pohyblivé části rámu. Pevná část rámu je překryta izolací*





### Aktivní opatření pro nízkou energetickou náročnost

- systém slunečních kolektorů pro ohřev vody a vytápění
- nízkoteplotní podlahové vytápění
- ventilace se zařízením pro zpětné získávání tepla a zemním kolektorem

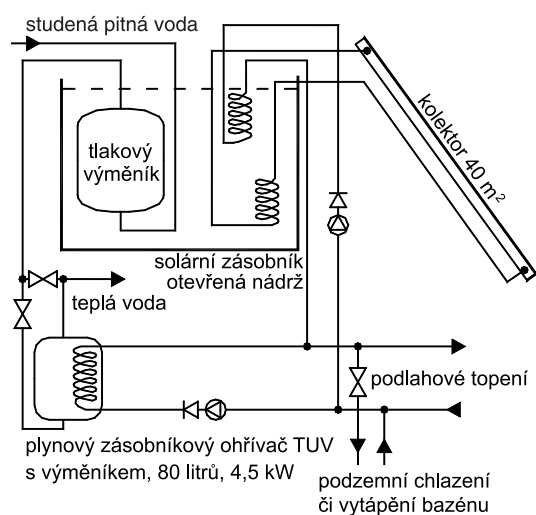
U všech tří systémů je kladen rozhodující důraz na jejich jednoduchost, spolehlivost a levnost.

### Otopný systém a příprava teplé vody

Podlahové topení je dimenzováno tak, aby k vytápění stačila voda o maximální teplotě 35 °C. Kromě tepelného předavače v solárního zásobníku bude jako zdroj tepla sloužit plynový zásobníkový ohřivač s externím deskovým výměníkem teplot.

Je zřejmé, že solární kolektor má tím vyšší účinnost, čím nižší je jeho pracovní teplota. K tomu, aby byla účinnost kolektoru co nejvyšší, je třeba ze solárního zásobníku odebírat teplo při co nejnižší teplotě. Toho lze dosáhnout tím, že teplo ze zásobníku bude využíváno pro topení již od teploty 25 °C. Kdybychom v zimním období solární kolektory využívali jen k ohřevu užitkové a pitné vody, dosahoval by solární zásobník běžně podstatně vyšších teplot a účinnost kolektorů by značně poklesla.

Pro instalaci slunečních kolektorů je využita sedlová střecha se sklonem 40° orientovaná na jih. Svěpomocně postavené sluneční kolektory s černým absorberem o ploše 40 m<sup>2</sup> jsou součástí střechy a jsou rozděleny do dvou polí.



### Větrání – výměna vzduchu

V těsné nízkoenergetické budově chybí tzv. přirozená výměna vzduchu, ventilační systém se tudíž stává nutností. Použitím ventilačního systému se výrazně zvyšuje komfort bydlení, není třeba větrat okny, v kuchyních a koupelnách nedochází k akumulaci vlhkosti a vzduch je spolehlivě trvale vyměňován.

V realizovaném domě je využito ventilační zařízení se zpětným získáváním tepla o výkonu 150 m<sup>3</sup> vzduchu za hodinu. Vzduch je odsáván z kuchyní, WC a koupelen. Čistý vzduch je přiváděn do obytných místností. Rekuperační výměník je vlastní konstrukce s účinností kolem 90 % (laboratorně měřeno). Čerstvý vzduch je vháněn přes zemní kolektor délky 40 metrů a průměru 25 cm vytvořený podél základů domu.

### Výpočtové energetické a investiční hodnocení objektu

spotřeba tepla za rok	4 086 kWh
měrná spotřeba tepla	17 kWh/(m <sup>2</sup> .a)
potřebný topný výkon pro -15 °C (bez solárních zisků)	3 673 W
navýšení investičních nákladů oproti obyčejnému domu těže dispozice	120 000 Kč
roční úspora oproti obyčejnému domu těže dispozice	20 000 Kč

**Investor a stavebník:** RNDr. Jindřiška Svobodová, Ph.D.,  
RNDr. Jiří Svoboda, CSc., e-mail: svobodova@ped.muni.cz

Po dohodě je možné objekt navštívit.

**Autor textu:** Jindřiška Svobodová

*Scéma otopné soustavy a systému pro ohřev užitkové a pitné vody. Podle teploty v domě a aktuálního stavu počasí se nastavuje otopný režim*

## 3. část Přílohy

### Stručný přehled fyzikálních a technických pojmů

**Spotřeba tepla  $e$**  [Wh nebo J – wathodina nebo joule, častěji kWh nebo MJ] – kolik energie na topení a ohřívání spotřebujeme. Převod mezi jednotkami je např. 1 kWh = 3,6 MJ. Uvádí se též spotřeba za určitou časovou jednotku, ta je pak doplněna za lomítkem; např. spotřeba za rok (latinsky annus, značka a) se uvádí v jednotkách kWh/a nebo GJ/a. Ta může být vztažena jen na určitou plochu, to je pak **měrná spotřeba** (za rok na jeden metr čtvereční) a vyjadřuje se v jednotkách kWh/(m<sup>2</sup>.a) nebo GJ/(m<sup>2</sup>.a). (Někdy se místo značky „a“ v takovém zlomku setkáme se slovem „rok“, to je ale chyba, vyjadřování jednotek slovy a značkami se nemá míchat.) Obdobně se kilo-wathodinami vyjadřuje též spotřeba elektřiny a paliv.

**Tepelná ztráta (tepelný zisk, tepelný tok)  $Q$**  [W] – jaký tepelný příkon musíme do objektu průběžně dodávat (nebo z něj teplo odebrat) pro zachování předpokládané vnitřní teploty při velmi nízké zimní, resp. vysoké letní, teplotě exteriéru. Poměrnou veličinu získáme vztažením na metr čtvereční [W/m<sup>2</sup>]. Někdy se sousloví „tepelná ztráta“ používá pro veličinu, kterou je přesněji označit jako *normová tepelná ztráta*, totiž pro tepelný tok z objektu za podmínek stanovených v normě (např. „normového mrazu“ činícího pro většinu českých lokalit -12 °C).

**Tepelný výkon  $P$**  [W] – veličina jistě jednoduchá a srozumitelná. Pro hloubavé k ní ale lze říci pár poznámek. U čistě topných zařízení je to prostě jejich celý výkon, tedy tok energie jimi dodávaný (zpravidla jen do daného objektu, bez výkonu dodávaného komínem do ovzduší, pak je na místě i přívlastek „topný“ místo „tepelný“). Teprve u kogeneračních jednotek a jiných zdrojů elektřiny nebo u strojů konajících mechanickou práci je přívlastek „tepelný“ důležitý, neb bez něj má mluvit často na mysli jen jejich výkon elektrický nebo mechanický (u kogeneračních jednotek a „dieselagregátů“ i všech větších tepláren je tepelný výkon vždy vyšší než elektrický, jen výjimečně hi-tech procesy mohou mít podíl elektrického výkonu na výkonu celkovém mírně přes padesát procent). V případě elektrických spotřebičů, nemají-li vývod mimo budovu, je jejich tepelný výkon shodný s jejich elektrickým příkonem (i když třeba dodají část tepla prostřednictvím viditelného záření). Tepelný výkon tepelných čerpadel bývá dvakrát, v nejlepším případě čtyřikrát vyšší než jejich elektrický příkon (tj. k odebrané elektřině přidají ročně stejné až trojnásobné množství tepla, které odeberou z nějakého chladnějšího prostředí).

**Tepelný příkon** [W] – tepelné toky dodávané do objektu (ať již zářením, prouděním nebo vedením).

**Teplo** [J] – úhrn tepelných toků za nějakou dobu, tedy energie dodaná soustavě jinak než prací.

**Práce** [J] – součin síly a dráhy, na níž působila, nebo součin elektrického napětí, proudu a času. Je to energie dodaná soustavě takovými procesy, jejichž charakteristiky lze průběžně měřit.

**Geometrická charakteristika budovy  $A/V$**  [m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>] – poměr ochlazovaných ploch  $A$  ku obestavěnému prostoru  $V$ . Dobře navržená budova má  $A/V < 0,7$  m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

**Faktor difuzního odporu  $\mu$**  – jaký odpor klade materiál průchodu vodní páry. Hodnota znamená, kolikrát klade materiál větší odpor než vzduch.

**Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$**  [W/(m.K)] – charakteristika materiálu – tepelný tok jednotkovou plochou materiálu o tloušťce jeden metr při jednotkovém rozdílu teplot na jejích opačných stranách. Čím je nižší, tím jsou tepelně izolační vlastnosti materiálu lepší.

**Součinitel prostupu tepla  $U$**  [W/(m<sup>2</sup>.K)] (dříve označovaný  $k$ ) – charakteristika konstrukce – tepelný tok jednotkovou plochou daného souvrství při jednotkovém rozdílu teplot na jeho opačných stranách. Nižší součinitel znamená lépe izolující souvrství.

**Podíl prostupu slunečního tepla  $g$**  – bezrozměrná veličina označující, jaký podíl slunečního tepla projde do interiéru z veškerého slunečního záření, které dopadne na plochu skla. Veličina je závislá zejména na podílu železa obsaženého ve skle, dále na počtu a tloušťce skel, na vrstvách nízké emisivity a jejich umístění v souvrství.

**Těsnost objektu  $n_{50}$**  [h<sup>-1</sup>] – vyjadřuje těsnost pomocí množství vzduchu proniknuvšího do (nebo z) objektu netěsnostmi za jednu hodinu při rozdílu tlaků uvnitř a vně 50 pascalů. Množství vzduchu je vyjádřeno poměrem k objemu sledovaného objektu.

#### Poznámka k problematickým pojmům a chybným souslovím

##### „tepelné záření“

Smysl má jen jako označení pro mechanismus svého vzniku: je to záření vydávané prostředím o dané teplotě, tím silnější, čím je ona teplota vyšší. Jako netepelné tak můžeme v případě potřeby označit záření výbojek (ne, že by nebyly uvnitř horké, ale většina světla pochází z částic pohybujících se ve výboji usměrněně), zářivek (totéž, navíc s využitím přeměny krátkovlnného záření na světlo delších vlnových délek na povlaku trubice), svítících diod, světlušek. **Smysl nemá** pro vyjádření svých tepelných účinků: **každé záření** totiž předmětům, na které dopadá nebo jimiž prochází, **dodává teplo**. Zda je také vidět, zda disociuje molekuly, ionizuje nebo přenáší televizní či telefonní signál, je přitom jedno. Pokud je v daném prostředí pohlcováno, vždy je ohřívá.

##### „elektrická energie“

Na rozdíl od správných sousloví jako kinetická energie, mechanická energie, vnitřní energie apod. je to sousloví nesmyslné, které nemůže nic označovat. Energie je stavová veličina popisující nějakou soustavu, a najít takový význam pro sousloví „elektrická energie“ se zatím nikomu nepodařilo... V případě elektrických dějů můžeme mluvit o práci, zcela přesně např. o práci střídavého sinusového elektrického proudu. Kratčeji lze takovou veličinu, měřenou v joulech nebo wathodinách, označit jako **elektrickou práci**, ale často se dvojslovnému



označení veličiny lze vyhnout a říkat prostě **elektrína**. Tedy např. stručně a správně: „naše spotřeba elektríny za uplynulý rok byla pět megawatthodin“.

#### „tepelná energie“

Opět veličina neexistující. I když na rozdíl od „elektrické energie“ nikoli v principu nesmyslná: je to totiž staré, dávno nepoužívané označení pro veličinu zvanou *vnitřní energie*. Ve většině případů, kdy se s tímto nesmyslným souslovím setkáváme, jej lze nahradit stručným **teplo**. Jindy lze prostě vypustit ono „tepelná“, pokud se nepotřebujeme vyjadřovat vložení vědecky (pak může místo o vnitřní energii jít častěji o entalpii). Často se lze užítí (správných) fyzikálních veličin vyhnout a mluvit prostě o ohřívání apod.

Komplikované vyjadřování se v případě elektrických a tepelných dějů vyvinulo historicky, během staletí, a často teprve ve dvacátém století dostaly příslušné fyzikální veličiny přesné obsahy a názvy. Nedorozumění vznikají tím, že jde většinou o slova z běžného jazyka, která mají i jiné významy: např. „je mi teplo“ jistě není vyjádřením ohledně fyzikální veličiny teplo. Asi to šťastně zvolený název pro fyzikální veličinu není (už proto, že teploměrem neměříme teplo, ale teplotu), ale co naplat. Jen slovo energie se do dnešního běžného jazyka dostalo naopak z fyziky (ta pro název veličiny sáhla kdysi do antické jazykové pokladnice) a rozšířilo se v něm až neuvěřitelně. Důvodem trvajících zmatků ve vyjadřování je jistě i to, že se jedná o děje, jejichž průběh jaksi nevidíme a jakžtakž přesnou představu o nich mají snad jen někteří znalci fyziky.

#### Výměník teplot alias předavač tepla

je zařízení, které předává teplo z jedné tekutiny do druhé, aniž by došlo k jejich promísení. O výměníku teplot lze správně hovořit jen tehdy, když se výstupní teplota ohřívané tekutiny přibližuje vstupní teplotě tekutiny ochlazované, tj. **když si obě tekutiny své teploty skutečně téměř vymění**. Toho lze docílit, když ona média proudí opačně, tj. když je předavač **protiproudý** (a dostatečně dlouhý, s dostatečně velkou plochou oddělující obě tekutiny, tím větší, čím kratší dobu v něm tekutiny setrvají).

Protiproudé předavače tepla jsou známé z chemických laboratoří, běžné jsou deskové (nebo trubicové) předavače pro kapaliny v tepelné technice, zatím vzácné jsou protiproudé deskové předavače pro vzduch – právě takové jsou ale potřeba pro větrání v pasivních domech. Ty nejlepší mají účinnost např. 95 %, tj. má-li venkovní vzduch teplotu 0 °C a vnitřní 20 °C, po průchodu předavačem tepla má ohřátý čerstvý vzduch teplotu 19 °C a ochlazený odpadní vzduch teplotu 1 °C, teploty jsou skutečně takřka vyměněné.

Označení „výměník tepla“ je matoucí, výměna je něco za něco (jedna teplota za druhou), předání tepla je akt jednosměrný. „**Tepelný výměník**“ či krátké „výměník“ je označení přijatelné, ale hodí se **jen pro protiproudé předavače tepla**.

Jde-li o jiný předavač, je možné jej označit alternativně jako **ohříváč**, **chladič**, „**had**“, „**žebrovaný had**“ (had = sada závitů trubky ponořená v kapalině, kterou má ohřívát), **registr** (sada rovnoběžných trubek omývaných proudem vzduchu jako v automobilovém chladiči nebo např. zahrnutá zeminou), **kolektor** (sběrač tepla třeba přímo solárního nebo ze zeminy).

Jde-li o předavač, kdy teplo odebíráme z tekutiny, která by jinak bez užítku odtekla pryč, mluvíme také o **rekuperátoru** – ten by ovšem protiproudý měl být a skutečně co možná nejlépe teploty přitékající a odtékající tekutiny vyměnit.

Máme podezření, že používání rekuperátorů s pouhým křížovým předavačem tepla (s ubohou účinností jen málo přesahující padesát procent) je zčásti zaviněno právě tím, že se i takovému zařízení se špatnou geometrií říká hrdě, ale nesprávně „výměník“. Teploty se v něm nevymění, ale spíše jen vyrovnají. Může-li přesnější vyjadřování přispět k prosazení lepší techniky, stojí za to si na něj zvyknout. Ona je ta lepší technika pro pasivní domy naprostou nezbytností. (Popravdě řečeno, v kompaktních agregátech se někdy křížový předavač používá, ovšem doplněný tepelným čerpadlem.)

#### „ohřev TUV“

je sousloví, kterému jsme se snažili vyhnout. Zkratka „TUV“ znamená „teplá užitková voda“ a je poněkud matoucí. Myslí se jí obvykle voda, kterou použijeme a necháme odtéci pryč, na rozdíl od té, která cirkuluje v toplovodním topení. Zpravidla jde o vodu pitnou, jen zřídka u velkých systémů chemicky změkčenou, jako prevence usazování vodního kamene. Samotný pojem „užitková voda“ však označuje vodu z alternativního zdroje, který nároky na pitnou vodu nespĺňuje, vedeno samostatným potrubím, např. vodu dešťovou nebo znečištěnou studniční. Její rozvody mají být provedeny tak, aby mohla být použita jen na splachování, praní a zalévání.

Místo „TUV“ lze srozumitelněji a přesněji říkat teplá voda, jen někde dle potřeby rozlišovat ohřátou vodu pitnou a užitkovou či explicitně dešťovou.