

Zásobování nízkoenergetických domů energií

Od tepelného čerpadla využívajícího tepla z odváděného vzduchu a solární energie k vytápění palivovými články

Energy supply of low-energy houses

From the heat pump using the heat of exhaust air and solar energy to fuel cell heating

Dr.-Ing. Andreas BÜHRING,
Dr. Angelika HEINZEL,
Prof. Joachim LUTHER
Fraunhofer-Institut für Solare
Energiesysteme ISE, Freiburg
Ing. VDI Hans-Lorenz FRITZ
Maico-Haustechnik Systeme,
VS-Schwenningen

Článek pojednává o zásobování nízkoenergetických a pasivních solárních domů energií. Předkládá ucelenou koncepci dalšího vývoje v Německu a hodnotí dosavadní poznatky o technických zařízeních nízkoenergetických budov.

Klíčová slova: nízkoenergetický dům, solární energie, tepelné čerpadlo, palivové články

The article deals with energy supply of low-energy and passive solar houses. It presents the integral conception of the further development in Germany and evaluates the pieces of knowledge up to now concerning the technical equipment of the low-energy buildings.

Key words: low-energy house, solar energy, heat pump, fuel cells

Recenzent

doc. Ing. Karel Brož, CSc.

Přeložil: Ing. Jiří Bašta, Ph.D.

Energeticky optimalizované obytné budovy skýtají možnost pokrýt velký podíl potřeby tepla regenerací energie. Efektivně je možné pokrýt stávající potřebu tepla u pasivních solárních domů kompaktními větracími zařízeními.

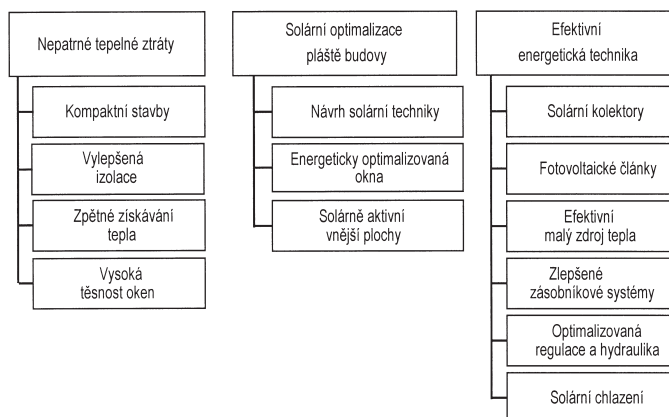
Malé decentralní zdroje tepla s přidruženou výrobou elektrické energie KWK (Kraft-Wärme-Kopplung) poskytují, díky novému technickému vývoji, jako jsou např. palivové články, možnost do budoucna změny struktury zásobování energií v Německu.

U obytných budov připadá velký podíl potřeby energie na vytápění – při dnešním stavu budov jsou to v průměru 3/4 dodané energie. Spotřeba energie v budovách činí 40 % spotřeby energie Německa. Snižit spotřebu energie, pokrýt podstatný podíl regenerací a připravit zbytek tepla s vysokou účinností – to by měly být důležité prvky každé budoucí energetické strategie.

1. SOLÁRNÍ NÍZKOENERGETICKÉ DOMY

Tepelně-technická kvalita nových obytných budov se výrazně zlepšila díky technologickému vývoji, zlepšené kvalitě budov a postupnému zpřísňování požadavků na úspory tepla v posledních desetiletích. S požadavky na úspory energie se od r. 2002 účinnost zásobování teplem primárně zhodnotila a zařízení jsou provozována na maximální dovolené roční spotřebě energie. Takto mohou být zlepšení obvodového pláště budov ekonomicky a ekologicky porovnána s investicemi do aktivní solární techniky a vybráno nejefektivnější řešení. Nové stavby budov v budoucnu stále více osazovány solárními tepelnými zařízeními [1]. Velmi dobrá tepelná izolace, okna s tepelně úsporným trojitým zasklením a velkými solárními zisky (vysoká g -hodnota), stejně jako zařízení bytového větrání se zpětným získáváním tepla, jsou bezesporu stavebními kameny, které umožňují zlepšit kvalitu obytných budov až k hranici pasivních domů (obr. 1).

Tyto budovy mají extrémně malou maximální měrnou potřebu tepla pro vytápění a to méně jak 10 W/m^2 . Díky vysoké kvalitě obvodového pláště budovy je tepelná pohoda spolehlivě dosahována bez přímého působení otopných těles



Obr. 1 Technologie pro solární nízkoenergetický dům

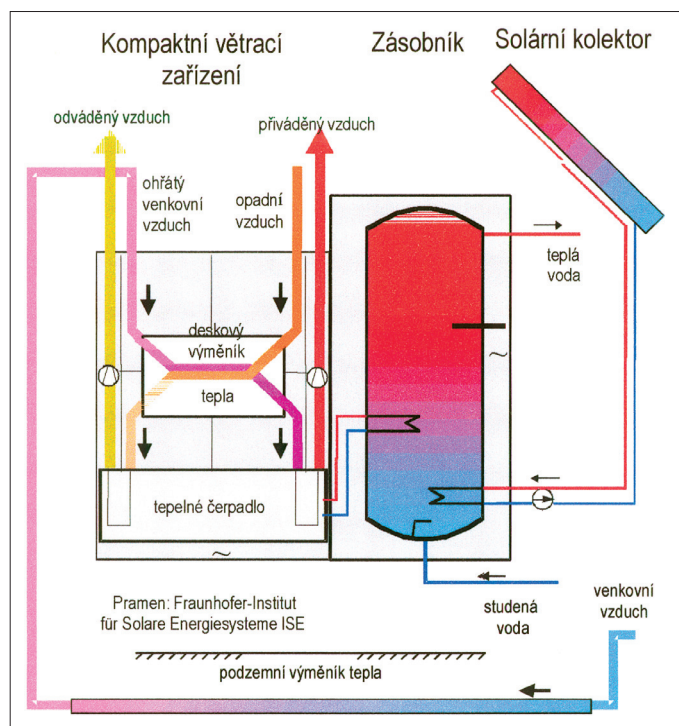
i za velmi chladných dní. Můžeme se proto konvenčních otopných soustav zříci a tepelnou ztrátu pokrýt přiváděným vzduchem, ohříváním ve větracím zařízení. Toto doplňkové využití větracího zařízení uspoří jinak nutné investice na zásobování teplem otopnou soustavou. Tato úspora může pokrýt část dodatečných nákladů vynaložených na obvodový plášť stavební konstrukce (zateplení). Podařilo se tak připravit cestu od prvního experimentálního domu k širokému využití na trhu. Do konce roku 2001 bylo postaveno 1 000 bytových jednotek v pasivních domech. Díky mnoha komponentům pro obvodové pláště budov a technickým zařízením budov (dále jen TZB) se již rozvinula nabídka na trhu a došlo následně i k poklesu cen.

Spotřeba elektřiny v domácnosti je v první řadě nezávislá na návrhu budovy a neklesá se spotřebou tepla pro vytápění. U současných nových staveb se proto spotřeba tepla stále více vyrovnává se spotřebou elektřiny pro domácnost. To vytváří základ pro použití KWK zařízení s vysokým poměrem výroby elektřiny vzhledem k vyrobenému teple. Právě palivové články mohou vykazovat vysoký poměr vyrobené elektřiny k teple a jsou proto obzvláště vhodné pro použití u velmi dobře zateplených budov.

2. HOSPODÁRNÁ TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOV

2.1 Kompaktní větrací zařízení

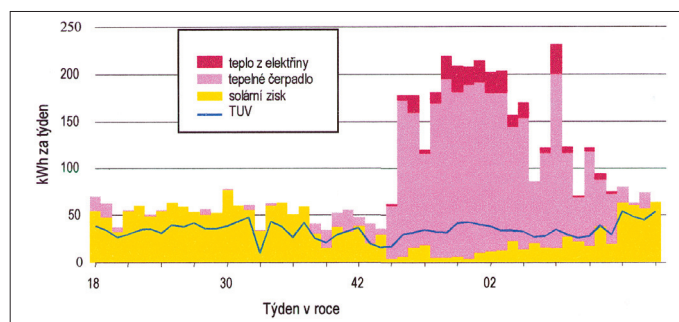
Pro uplatnění v pasivních solárních domech bylo v průmyslu za podpory Fraunhoferova institutu pro solární energetické systémy (Fraunhofer ISE) vyvinuto technické zařízení nové třídy, tj. kompaktní větrací zařízení. Tato větrací zařízení se vyznačují tím, že zahrnují vedle pasivního zpětného získávání tepla ve výměníku tepla vzduch – vzduch rovněž tepelné čerpadlo využívající zbytkové teplo v odváděném vzduchu k vytápění a pro ohřev TUV [2]. Zařízení jsou větší



Obr. 2 Princip kompaktního větracího zařízení pro pasivní solární dům

nou propojena přes zásobník se solárním okruhem, který může v létě plně pokrýt potřebu tepla pro ohřev TUV (obr. 2). Kompaktní větrací zařízení mají v zásobování pasivních solárních domů podíl na trhu již okolo 30 % [4].

Odpovídající maximálně dimenzované podpůrné solární vytápění v pasivním domě by vyžadovalo pro krátkou část otopného období (tři až čtyři měsíce) s malými slunečními zisky extrémně velké dimenzování solárního zařízení či



Obr. 3 Výsledky měření na pasivním solárním domě v Büchenau/Bruchsal 120 m² obytné plochy

Výsledky měření:

- 22 kWh/m² r teplo pro vytápění
- 15 kWh/m² r teplo na TUV
- přes 40 % celkové potřeby pokrývá solární energie
- 13 kWh/m² r proud pro vytápění, větrání a TUV

Maico Aerex
8 m² plochy kolektorů
zemní výměník tepla

velký účinný zásobník tepla. Sorpční zásobník může zvětšit využitelnost solárních zisků.

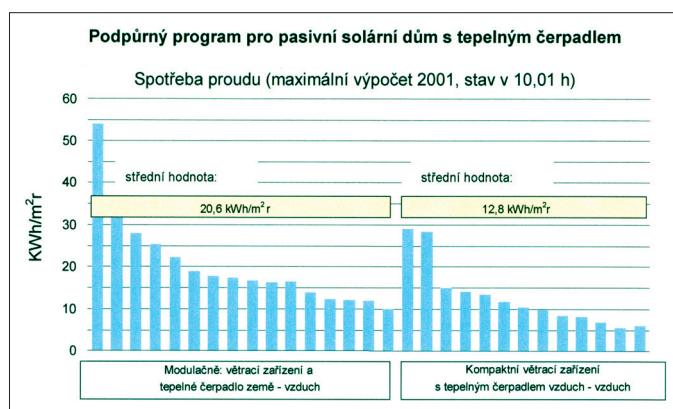
V pilotním a demonstračním projektu prokázal Fraunhofer ISE možnou efektivitu zásobování pasivních solárních domů teplem větracím kompaktním zařízením, jako je např. zařízení Aerex fy. Maico Haustechnik Systeme. U volně stojícího pasivního solárního domu v Büchenau se 120 m² obytné plochy je proměřováno již od r. 1999 použití zařízení s předřazeným odběrem tepla ze země (podzemní výměník) a se solárním kolektorem.

Potřeba tepla na vytápění se pohybuje se svými 22 kWh/m²r okolo 40 % nad vypočtenou hodnotou. Příčinou je dosahovaná průměrná výpočtová vnitřní teplota v otopném období 22 °C oproti uvažované teplotě 20 °C ve výpočtech. Potřeba tepla na ohřev TUV se pohybuje okolo 15 kWh/m²r (obr. 3).

Pasivní a aktivní zisky z oslunění pokrývají 40 % celkové potřeby tepla domu. Kromě 230 kWh/r na elektrický ohřev v zásobníku a elektrického záložního vytápění obytných místností (5 % celkové spotřeby tepla) je stávající potřeba tepla plně kryta tepelným čerpadlem (odváděný vzduch). Roční využitelnost (topný faktor), tj. poměr dodaného tepla k vynaložené elektrické energii se pohybuje nad hodnotou 3. Včetně ztrát transformací při výrobě elektřiny činí primární potřeba energie domu pro vytápění, ohřev TUV a větrání včetně všech vedlejších agregátů a regulace méně jak 40 kWh/m²r. Tato potřeba elektřiny pro TZB může být kryta pro roční průměr solárními fotovoltaickými články o velikosti 13 m². Pak lze dům označit jako dům s nulovou (místní – pozn. recenzenta) produkcí emisí.

U sedmi měřených řadových domů v Neuenburgu nad Rýnem s průměrnou potřebou primární energie 30 kWh/m²r může stejné zařízení pokrýt potřebnou energii a zajistit i větrání.

Na základě objednávky Energetiky Baden – Württemberg (EnBW) evidoval Fraunhofer ISE spotřebu energie TZB v téměř 100 pasivních solárních domech vystavěných s finanční podporou EnBW. Vedle častého použití kompaktních větracích zařízení je zde rovněž určitý počet domů, které jsou vybaveny kombinací velmi kvalitního větracího zařízení a tepelného čerpadla země – vzduch. Tato kombinace kvalitních komponentů však spotřebovává u 16 dosud zkoumaných objektů o 60 % více elektrické energie, jak u 13 dříve vyhodnocených kompaktních větracích zařízení (obr. 4).



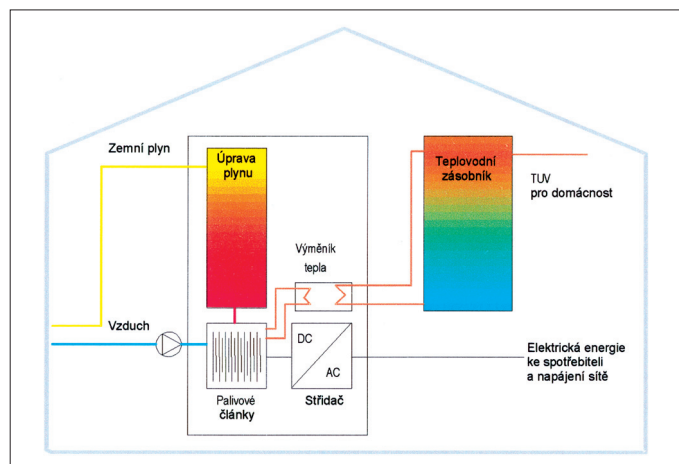
Obr. 4 Porovnání použití jednotlivých komponent pro zásobování pasivního solárního domu teplem kompaktním větracím zařízením. Každý ze sloupců je pro evidovaný zásobovací systém pasivního solárního domu

Kromě jiného je to způsobeno chybným odladěním regulace, čímž docházelo k nepotřebně velkému využívání elektrických topných tyčí. Za dnešního stavu poznatků jsou kompaktní větrací zařízení použita v kombinaci se solárním zařízením technicky optimálním řešením pro zásobování pasivních solárních domů energií.

O další vývoj této nové třídy TZB usilují mnozí další výrobci. Na posledním semináři o pasivních domech se prezentovalo již osm výrobců kompaktních větracích zařízení [3]. Mnoho výrobců spatřuje v zařízení základ dalšího vývoje pro zajištění zásobování energií obytných budov s tepelným standardem mezi pasivním a „tří litrovým“ domem (potřeba tepla = 30 kWh/m²r). Byly proto nalezeny částečné dodatekové zdroje tepla: doplňkový přívod čerstvého vzduchu, uzavřený oběh vzduchu přes zemní výměník tepla, nebo dodatečný ohřev ve zdroji tepla na zkapalněný plyn. Firma Maico Haustechnik Systeme nyní testuje v laboratoři Fraunhoferova ISE nově vyvinuté jednopodlažní kompaktní větrací zařízení pro **vícegenerační** domy. Zařízení by se mělo prvně použít na jaře 2002 ve vícegeneračním pasivním domě ve Freiburgu.

2.2 Vytápění palivovými články

Palivové články přeměňují chemickou energii paliva (např. vodíku) částečně na proud bez termodynamického cyklu. Proto může být elektrická účinnost a také ukazatel podílu proudu vyšší než je v kogeneračních jednotkách s motorem. Palivové články jsou použitelné především pro zásobování teplem a elektřinou u domů dobře zateplených – nízkoenergetických až pasivních. Zde se můžeme při použití palivových článků pro vytápění vzdát přídavného hořáku (obr. 5). Takto se přemění větší podíl energie obsažené v palivu na elektrický proud. Abychom vyrovnali různé průběhy potřeby tepla a elektrického proudu, je nutné použít dostatečně velký zásobník tepla (např. sorpční zásobník)*. Pokryje se



Obr. 5 Principiální schéma vytápění obytného domu palivovými články

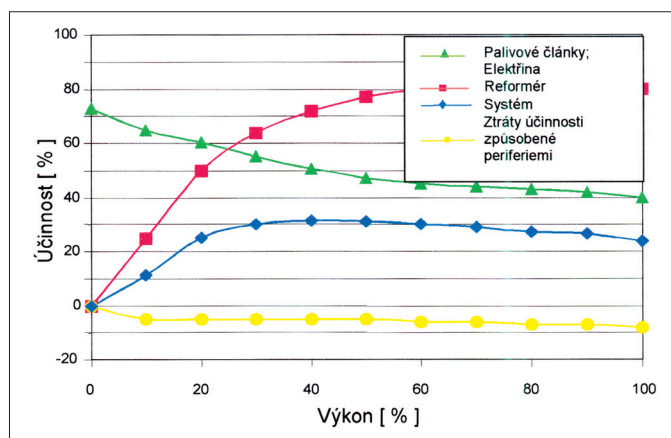
tak část provozu vytápění náročná na elektrický proud jen z kapacity zásobníku tepla. To umožňuje optimální pokrytí potřeby energie při minimálním nabíjení.

Na obr. 6 jsou uvedena data pro PEM** palivové články, jak jsou dosažitelná podle současného stavu vývoje. Ve jmenovitém provozním bodu na částečný výkon se přemění cca 35 % energie z paliva na elektrický proud. Započítány jsou především relativně vysoké ztráty reformérů (měničů paliva)*** v oblasti

* Pozn. rec.: Sorpční zásobník je zařízení, které akumuluje teplo absorpcí par jedné ze směsí teplotních látek (např. čpavku) do kapalné fáze směsi (u čpavku bývá sorbentem voda) a vydává teplo jejich desorpcí při nevelkém rozdílu teplot. Přenos tepla je zde svázan s vnitřním přenosem hmoty.

** Pozn. rec.: Palivové články PEM – články s katexovou iontoměničovou membránou. Mají pracovní teploty 60 až 130 °C. Dosahují účinnosti výroby elektřiny až 60 % (při napájení čistým H₂).

*** Pozn. rec.: Reforméry paliva jsou nutné u kyslíko-vodíkových palivových článků vždy, když není palivem čistý vodík. Např. při pohonu zemním plynem musí být metan rozštěpen na vodík a uhlík tepelným procesem v reforméru. Vodík je zaveden do vlastního článku, uhlík slouží jako palivo pro proces štěpení.

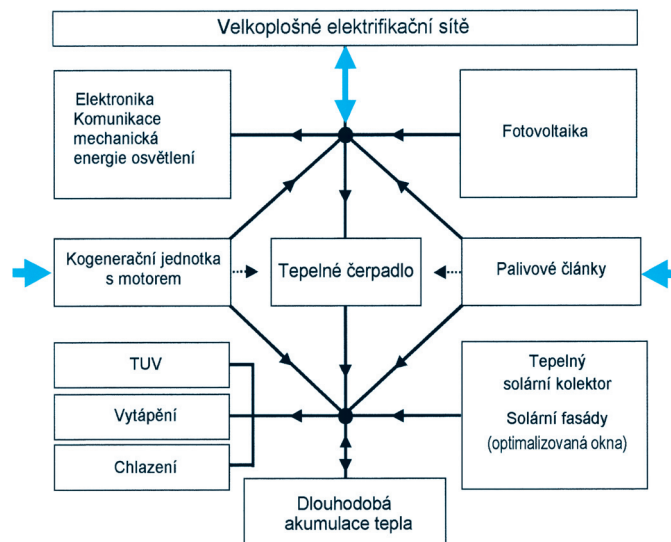


Obr. 6 Projektované parametry PEM palivového článku

částečného výkonu. Zvláštní pozornost je pak zaměřena na spotřebu elektrického proudu periferiemi.

3. TEPLA A ELEKTRICKÝ PROUD V PŘIPOJENÉ SÍTI

V budoucnosti je velký zájem o těsné spojení mezi produkcí tepla a elektrického proudu. Z výše popsaných měnících se okrajových podmínek je patrné, že roste význam integrace nových TZB jak do tepelných sítí, tak také současně do sítí rozvodu elektrického proudu (přenosových soustav). Na obr. 7 jsou principiálně zobrazena možná propojení toků energií v obytných budovách. Vlevo jsou vyjmenovány požadované energetické služby a vpravo ty, které jsou k regeneraci přednostně k dispozici. Jednosměrné propojení elektrické a tepelné části



Obr. 7 Toky energií v domě budoucnosti. Dodatečné zásobování teplem malým tepelným čerpadlem může být v budoucnu nahrazeno malými KWK zařízeními. (Kogeneračními jednotkami s plynovými miniturbínami, vytápění palivovými články). Spalování chemicky vysoce hodnotného nosiče energie bez výroby elektrické energie bychom se měli co nejdříve vzdát

energetického systému prostřednictvím tepelného čerpadla může použitím KWK jednotek ještě vést k rozšíření na obousměrné propojení. Dobrému hospodaření s energií pomáhají zásobníky s dlouhodobou akumulací.

Jaký bude později podíl lokálního pokrytí potřeby energie a jaký podíl připadne na pokrytí centrální sítí, závisí především na hospodářsko energetických okrajových podmínkách. Smluvní modely (Contracting Models) umožňují provozovo-

vatelům elektrických sítí připojit mnoho malých KWK zařízení k již rozmístěným elektrárnám. Lze tak produkovat jak kvalitní špičkový elektrický výkon, tak „jako-kvalitní elektrickou energii“ („Quality Power“) ke zlepšení kvality využívání sítě na nejvyšší napěťové úrovni.

Společné působení palivových článků se solární technikou se zkouší v rámci projektu na Fraunhofer ISE. Často je solární tepelná technika vytlačována možnostmi blízké dodávky tepla a KWK zařízeními.

Vytápění palivovými články malých výkonů produkujících elektrický proud však potřebuje zásobníky tepla, které mohou snížit investice potřebné k pořízení dodatkového solárního tepelného zařízení. Vysoko-teplotní palivové články (např. SOFC)**** mají v letním částečném provozu špatné účinnosti a proto se mají, pokud to lze, uprostřed léta vypínat. Jelikož nejsou dnes ještě přizpůsobeny krátkodobému provozu, nahrazují se v tomto období solárními tepelnými zařízeními.

Vzrůst decentrální techniky palivových článků musí z dlouhodobého hlediska vyvolat též vzrůst potřeby regeneračně vyráběného vodíku. V příštích letech jde u systémů s palivovými články především o vývoj převodníku energie s vysokou účinností a o optimální integraci regenerační techniky.

Způsoby provozování upravené ve smluvních vztazích mohou vést dodavatele tepla k úplnému sloučení struktur zásobování teplem a elektrickou energií. Zásobování elektrickým proudem přímo mnoha decentrálními provozovateli dělá ze zákazníků zásobovatele energií, tj. dodavatele elektrické energie budoucnosti. Dnešní výrobci vytápěcích zařízení se v budoucnosti stanou producenty zařízení pro výrobu elektrické energie. V mnoha oblastech mohou popsané techniky vést k silným změnám v zásobování teplem a elektrickou energií.

**** Pozn. rec.: Palivové články SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) mají pevný elektrolyt (keramiku, kde je základní složkou ZrO₂). Pracují při teplotách 800 až 1 050 °C.

Literatura:

[1] Luther, J., Wittwer, V., Voss, K. Energie für Gebäude – solare Technologien und Konzepte, Physikalische Blätter 57 (2001) Nr.11
 [2] Bühring, A. Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Einsatz von Lüftungs-Kompaktgeräten mit integrierter Kompressionswärmepumpe, Dissertation an der TU Hamburg Harburg, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart, 2001.
 [3] Bühring, A., Russ, Ch. Lüftungs-Kompaktgeräte: Messergebnisse, Erfahrungen, Hersteller, Tagungsband der 5. Passivhaustagung, Böblingen, 2001.
 [4] Feist, W. Das Passivhaus 2001: Fakten, Entwicklungen, Tendenzen, Tagungsband der 5. Passivhaustagung, Böblingen, 2001

Pozn. recenzenta:

Přehled kategorizace domů podle roční spotřeby energie na vytápění

Kategorie domu	Hranice	Potřeba na vytápění kWh/m ² r
Quazi-nulový (pasivní)	dolní	0
	typická	3
	horní	5
Nizkoenergetický	dolní	5
	typická	28
Energeticky úsporný	horní	50
	dolní	50
	typická	60
Běžný	horní	70
	WSVO 95	75
	SIA-cíl	80
	SIA-hraniční	90

(SIA – Svaz švýcarských inženýrů a architektů). ■

*** Obnovitelné zdroje energie**

Vyšlo 2. upravené vydání knihy M. Cenka a kol. Obnovitelné zdroje energie. Knihu vydalo nakl. FCC Praha v rozsahu 208 stran.

Publikace přináší nejnovější informace o technických řešeních v oboru využívání obnovitelných energií jako alternativě k energiím ze spalování fosilních paliv. Popisuje využívání fototermální, fotovoltaické, vodní a větrné energie včetně tepelných čerpadel a energie z biomasy. Je popsáno i využití obnovitelných zdrojů energie pro technická zařízení budov, zejména pro vytápění, větrání a ohřev TUV.

(EKO, 2001, č. 4, s. 45)

(Laj)

*** Jak se řeší pohoda prostředí ve Francii**

V červnu 2001 bylo ve Francii vydáno nové nařízení, které se týká tepelné pohody v obytných domech. Je označováno jako revoluční. Vydalo je ministerstvo pro rozvoj, dopravu a výstavbu. Dokument se vztahuje na objekty bez klimatizace s obytnou plochou menší než 220 m², jejichž stavební povolení bylo vydáno po 2. červnu 2001. Cílem nařízení je zlepšit energetické chování staveb, jeho dodržením dojde k 15 až 40 % úspoře energie. Nařízení, které se nazývá **Règlementation Thermique 2000** (dále je označováno RT 2000), předepisuje použití pouze určitých schválených a předepsaným způsobem označených stavebních prvků a materiálů. Pro zájemce o podrobnější informace je nový předpis dostupný ve francouzštině v plném znění na internetu (<http://rt2000.cstb.fr>). Zde je vysvětlen princip hodnocení materiálů a konstrukcí, pravidla výpočtu, příklady aplikace, technická řešení a odpovědi na nejčastější otázky. (Ve Francii jsou pořádána diskusní fóra k novému nařízení: předpis zavádí bodování použitých materiálů a nařizuje u nových obytných staveb dosažení určitého počtu bodů).

Jaké platí ve Francii dnes požadavky na větrání?

Od roku 1985 jsou stanoveny požadavky na přívod čerstvého vzduchu *na pracoviště*: kancelář, místnost bez fyzické práce: 25 m³/h; restaurace, prodejny, zasedací místnosti: 30 m³/h; dílny a prostory s lehkou fyzickou prací: 45 m³/h; výkon těžší práce: 60 m³/h. Dekretem z r. 1992 se ukládá zvýšit tento požadavek tam, kde je dovoleno kouřit a to o 7 m³/h/os.

Hluk, způsobený nuceným větráním, nesmí *na pracovištích* podle nařízení z r. 1997 překročit 33 dB(A/ v knihovnách, lékařských vyšetřovnách a místnostech určených k odpočinku, 38 dB(A/ v posluchárnách a školních třídách, 43 dB(A/ na ostatních pracovištích.

Od r. 1999 je požadavek rozšířen *na obytné místnosti*, hranice je 30 dB(A/ v obytných místnostech, 35 dB(A/ v kuchyních bytů. Hodnoty jsou stanoveny pro nejnižší stupeň chodu větrání.

Od r. 1997 jsou nově stanoveny požadavky na větrání, resp. přívod čerstvého vzduchu (v m³/h) specificky znečišťovaných prostor bytů podle počtu hlavních místností takto:

Počet pokojů	Kuchyně	Koupelna s WC (nebo bez)	První WC v bytě	Každé další WC v bytě
1	75	15	15	15
2	90	15	15	15
3	105	30	15	15
4	120	30	30	15
5 a více	135	30	30	15

(Laj)