

Jens PFAFFEROTT, Sebastian HERKEL
Fraunhofer ISE, skupina solárních staveb
Peter SEEBERGER
odborná střední škola Stuttgart,
obor stavební fyziky

Chlazení vzduchem a bez klimatizačního zařízení

Cooling by air and without air conditioning equipment

1. ÚVOD

Perspektivní administrativní budovy se vyznačují svým vysokým stupněm využití při současně velmi malé potřebě primární energie pro vytápění, chlazení, větrání, osvětlení a využívání. Důležitým prvkem energetické koncepce u takové budovy je tzv. „pasivní chlazení“. K tomu patří temperování betonových jader, přirozené a mechanické noční větrání, jakož i zemní výměníky tepla (trubky v zemi protékané vzduchem). Noční větrání a zemní výměníky tepla jsou ve stavební praxi již zavedeny a mohou při správném projektování a řízení provozu zajistit dobré vnitřní klima bez aktivní klimatizace a to při konkurenceschopných nákladech (investiční a provozní náklady).

2. FUNKCE A MEZNÍ PODMÍNKY

Aby bylo možno upustit od aktivního chlazení, je třeba ve fázi projekce omezit solární a vnitřní tepelné zátěže účinnou protisluneční ochranou, popř. lepším využitím denního světla, automatizací osvětlení a vhodnou volbou přístrojů (např. ploché obrazovky). Snížené tepelné zátěže lze pak odvést jen větráním. Přitom během dne možno využít zemních výměníků tepla, protože zem je chladnější než venkovní vzduch. Se zřetelem k náležitě velké tepelné akumulaci hmotě stavby, lze teplo odvést chladným nočním vzduchem.

Na druhé straně nelze budovu pasivně chladit, jsou-li na vnitřní teplotu (v místnostech) kladeny zvlášť vysoké požadavky, nebo je-li nutno odvádět vysoké tepelné zátěže. Z tohoto důvodu je třeba při projektování stanovit meze pasivního chlazení, např. pro měnící se požadavky na využívání.

3. PASIVNÍ ADMINISTRATIVNÍ BUDOVA LAMPARTER

Administrativní budova Lamparter (Weilheim/Teck) [1] je důsledně a od začátku projektována jako pasivní dům. Svou koncepcí stavby a technického vybavení (místo běžného zařízení pro přívod a odvod vzduchu se zpětným získáváním tepla), budova dosahuje roční potřebu tepla pro vytápění cca 12 kWh/m² podlahové plochy. Velmi malé spotřeby primární energie cca 55 kWh/m²/rok vztaheno k ploše podlahy (NGF podle DIN 277) se docílí důslednou redukcí tepelných ztrát, využíváním denního světla, upuštěním od klimatizace kanceláří a využíváním sluneční energie.

Projekt byl optimalizován z hlediska vnitřního klimatu, denního světla na pracovišti a potřeby energie. Základní mechanické větrání lze podporovat přirozeným větráním okny.



Obr. 1 – V administrativní budově Lamparter ve Weilheimu je letní tepelná ochrana řešena účinnou protisluneční ochranou, nočním větráním a zemním výměníkem tepla vtělena do koncepce pasivního domu. (Spolek architektů Weinbrenner Single. Energetická koncepce: Fraunhoferův ISE.)

Nosnou konstrukci tvoří skelet ze železobetonu. Masivní železobetonové stropy jsou zachovány jako viditelné betonové plochy, aby se dosáhlo dobré tepelné vazby mezi vnitřním vzduchem a stavební konstrukcí.

Statické zastínění a venkovní žaluzie snižují v létě solární te-

pelné zisky. Tepelně akumulaci hmoty stropů a podlah pomáhá k potlačování přehřátí. V teplých dnech je přiváděný vzduch ochlazován vedením přes zemní výměník tepla. Přirozené noční větrání zabraňuje „vyskočením“ letních teplot odběrem tepla z akumulací hmot.

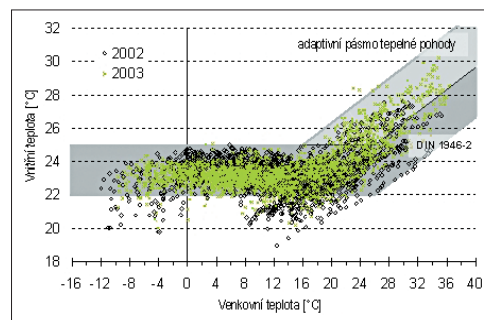
Chování teplot v létě

S ohledem na to, jak se v létě chovají teploty a pasivní chlazení, je třeba se při koncepci budovy zaměřit na teplotu v kancelářích při vysokých venkovních teplotách. Podle DIN 1946 [2] nemá maximální operativní teplota v budově se vzduchotechnickými zařízeními překročit 25 °C až do venkovní teploty 26 °C a při vyšších venkovních teplotách smí být nad touto mezní teplotou. Výzkumy Deara a Bragera [3] ukazují, že u přirozeně větraných budov se i vyšší vnitřní teploty cítí jako „pohodové“. Tyto výsledky mají být zakomponovány do nízozemské směrnice pro tepelný komfort [4]. Zanesou-li se do grafu vnitřní teploty z reálného provozu ukazuje se, že požadavky na komfort, pokud se týče průběhu letních teplot, byly dodrženy jak v typickém létě 2002, tak i v neobvykle teplém létě 2003.

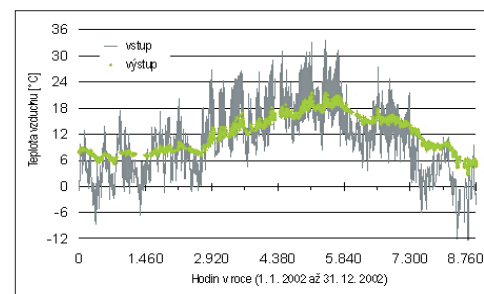
Zemní výměníky tepla

Zemní výměník tepla sestává ze dvou trub o průměru 350 mm a má celkovou délku 180 m. Během pracovní doby je ve výměníku ohříváno průměrně 1100 m³/h vzduchu o více než 10 K (zimní provoz) nebo ochlazováno (letní provoz). Zemní výměník tepla je regulován v závislosti na výstupní teplotě. Cílem přitom je, aby se vzduch při provozu vytápění předeřhal na 22 °C a při provozu chlazení ochladil na 22 °C. V roce 2002 běžel zemní výměník tepla téměř 3600 hodin a dodal 3200 kWh topné, jakož i 2400 kWh chladicí energie.

Energetický přínos zemního výměníku tepla závisí od zemní teploty, vstupní teploty, přestupu tepla ze země do vzduchu a od provozních hodin. Porovnání energetických přínosů různých zemních výměníků tepla je proto obtížné. Typickou srovnávací veličinou při projektování je specifický povrch, tj. poměr povrchu trub k objemovému průtoku. V zásadě je přitom třeba mít na zřeteli následující závislost mezi energetickým přínosem a dosažitelným teplotním rozdílem: Se stoupající teplotní rozdílem mezi zemí a vzduchem a tím i přenášený výkon. Vztáh-



Obr. 2 – Vnitřní teploty vzduchu (střední hodnota ze dvou kanceláří s orientací S-V, popř. J-Z) v závislosti na venkovní teplotě v pásmu pohody podle DIN 1946 a na návrhu k vyhodnocování tepelné pohody v místnostech s přirozeným větráním

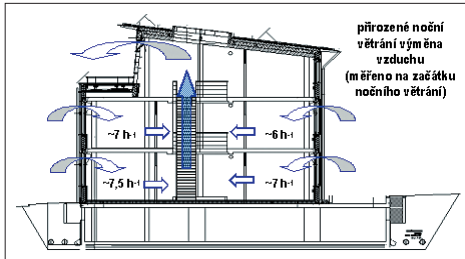


Obr. 3 – Zemní výměník tepla využívá teplotní rozdíly mezi venkovním vzduchem a zemí. Ohřevem vzduchu v zimě a jeho chlazením v létě je výstupní teplota vůči vstupní teplotě značně utlumována

ne-li se energetický přínos k povrchu trubek, pak specifický energetický přínos klesá se specifickým povrchem trubek. Zemní výměník tepla pro administrativní budovu Lamparter dosahuje přiměřeně k poměrně velkému specifickému povrchu trubek $0,18 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \text{ h}^{-1})$ srovnatelně menší specifický energetický přínos $12,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$ chladicí energie. Nicméně výstupní teplota, vzhledem k velkému specifickému povrchu trubek, se značně blíží zemní teplotě. A tak je vzduch v létě srovnatelně silně ochlazován.

Noční větrání

Denní tepelná zátěž činila v roce 2002 okolo 250 Wh na m^2 plochy kanceláří. (Střední hodnota mezi 1. červnem a 31. srpnem). V této hodnotě jsou započítány tepelné zátěže vnitřní (přístroje, osvětlení a osoby) a solární (s přihlédnutím k protisluneční ochraně). Ve dne se mechanickým větráním (zemní výměník tepla) odvádí cca 100 Wh (m^2) (den) při 1,2 násobné výměně vzduchu.



Obr. 4 – Výměna vzduchu při nočním větrání se mění přiměřeně podle proměnných okrajových podmínek (teplotního rozdílu mezi vnitřkem a vnějškem jakož i větru)

Vzestupu vnitřní teploty. Noční větrání je realizováno jen tepelným vztlakem: Vzduch proudí venkovními klapkami a otevřenými dveřmi kanceláří do chodeb a střešními klapkami v nejvyšším bodě budovy opět ven. Vedení vzduchu a volné průřezy proudění jsou stanoveny na základě detailní tepelné simulace budovy tak, aby i při nejnepříznivějších povětrnostních podmínkách byla zajištěna dostatečně velká noční výměna vzduchu.

4. BUDOVA FRAUNHOFEROVA INSTITUTU PRO SOLÁRNÍ SOUSTAVY (ISE)

Budova Fraunhoferova institutu ISE [1] byla nastěhována v roce 2002. Byla projektována za podobných zadání jako administrativní budova Lamparter. Avšak vzhledem k provozu laboratoří nemohlo být větrání křidel budovy realizováno jako přirozené. Zde přicházela v úvahu jen instalace odsávacího zařízení s úhradou čerstvého vzduchu okny, popř. šterbinovými ventily. Ve spojení s tepelnou akumulační kapacitou může být odsávací zařízení používáno v létě i jako noční větrání s pětinasobnou výměnou vzduchu.

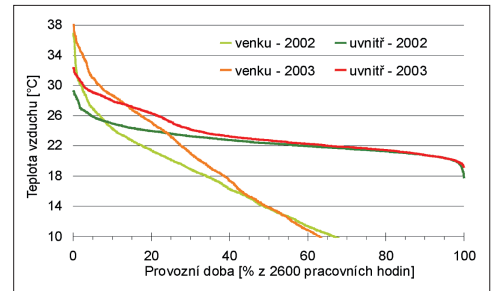


Obr. 5 – Budova Fraunhoferova institutu ISE se vyznačuje svou štíhlostí. Vzhledem k úspoře elektrické energie a účinné protisluneční ochraně jsou vnitřní a solární tepelné zátěže tak zredukovány, že budova může být ochlazována výhradně zemními tepelnými výměníky. (Architekti: DIS-SING +WEITLING. Technické vybavení budov: Rentschler & Riedesser. Energetická koncepce: Fraunhofer IUV ISE)

V noci se odvádí přirozeným větráním (při silně kolísající výměně vzduchu) v průměru cca 150 Wh (m^2) (den). Tím se ochlazují masivní betonové stropy a ty jsou pak k dispozici následujícího dne jako akumulátory chladu, aby se zabránilo silnému

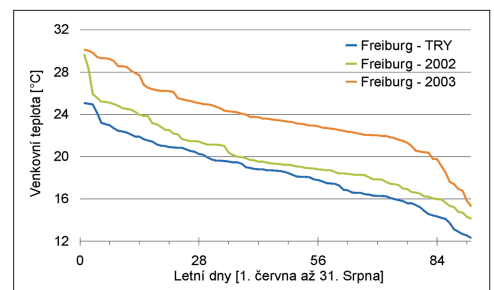
Budovy bez vzduchotechnických zařízení musejí splňovat zadání podle DIN 4108-2 [5], potvrzené v [6]. Tím má být zajištěno, aby vnitřní teplota byla udržována v rozmezí pohody, nezávisle na podnebním pásmu. V oblasti Freiburgu nejsou údajně teploty $27 \text{ }^\circ\text{C}$ překračovány častěji než po 10 % doby pobytu osob. Měření v 16 kancelářích ukazují, že v typickém létě 2002 byla překročena vnitřní teplota $27 \text{ }^\circ\text{C}$ jen po 5 % pra-

covní doby. V neobvykle teplém létě 2003 bylo teplot $27 \text{ }^\circ\text{C}$ a více dosaženo po 15 % pracovní doby. (Ačkoliv budova splňuje velmi dobře požadavky letní tepelné ochrany, může občas dojít při extrémních klimatických podmínkách k narušení pohody v místnostech).



Obr. 6 – Křivka průběhu venkovních a vnitřních teplot v roce 2002 (zelená) a 2003 (červená). Budova v létě 2002 se nachází velmi dobře v požadovaném pásmu pohody. V důsledku dlouho trvajících period horka v létě 2003 se vnitřní teploty v místnostech nad $27 \text{ }^\circ\text{C}$ vyskytují po 15 % pracovní doby.

Budova je vzhledem ke koncepci pasivního chlazení nočním větráním silně svázána s venkovní teplotou. Po delším období horka je tepelný akumulátor ve stavebních dílech – na vzdor nočnímu větrání – plně nabit a není pak během dne schopen tlumit solární a vnitřní tepelné zátěže. Tím vzrůstá vnitřní teplota, protože i krátkodobé tepelné přínosy lze těžko tlumit. Je-li zem navíc využívána jako na venkovním vzduchu nezávislá tepelná jímka, lze toto „tepelné vyskokování“ potlačovat.



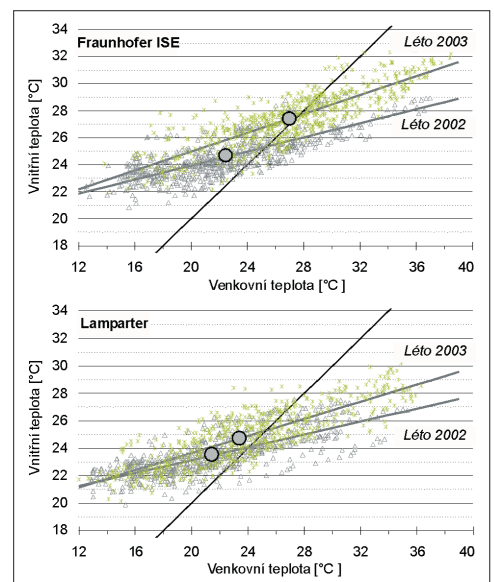
Obr. 7 – Letní venkovní teploty (střední denní hodnoty) pro referenční kkušební rok TRY 7 „jižní příkop horního Rýna“ a měření ve stanovišti Freiburg. Léto 2003 je výrazně vzhledem k dlouho trvajícím periodám horka. Maximální střední denní teplota je jen nepodstatně vyšší než v roce 2002

5. POROVNÁNÍ OBOU KONCEPCÍ PASIVNÍHO CHLAZENÍ V LÉTĚ 2002 A 2003

Léto 2002 bylo cca o 1,5 K teplejší, než průměrné léto (referenční rok TRY 7). Proto by měly být při budoucích výpočtech dimenzování brány v úvahu vyšší letní teploty. Léto 2003 bylo o 5,2 K teplejší než průměrné léto a tedy ojedinělý případ: Čistě statisticky vychází podle Německé meteorologické služby doba opakování přes 500 let. A tak v roce 2003 nejde o všeobecně platné měřítko. Přesto však srovnání s tímto počasím vyvoluje důležité pokyny pro projektování budov.

Porovnáme-li obě budovy – Fraunhofer ISE a Lamparter – ukazuje se v podstatě stejné chování:

□ V létě 2003 je vnitřní teplota silněji závislá na venkovní teplotě. (Přímka regrese s větším stoupáním). Obě



Obr. 8 – Závislost vnitřní teploty na venkovní teplotě v létě 2002 a 2003 během provozní doby (08:00–18:00 hod.). Šedivé body vyznačují střední vnější a venkovní teplotu. (K lepší orientaci je vyznačena přímka stejných venkovních a vnitřních teplot).

budovy reagují v létě jako lehké, protože tepelně akumulční hmota po dlouhé periodě horka nemůže již být využita k tlumení tepelných přínosů.

- Současně je převýšení vnitřní teploty oproti venkovní teplotě v létě 2003 menší než v 2002. Zřejmě uživatelé redukovali nadměrnou teplotu přízpůsobeným chováním. (Měření dokládají, že byly žaluzie častěji uzavírány a ráno bylo intenzivněji větráno).

Vzhledem k vyšším teplotám ve Freiburgu je Fraunhofer ISE teplejší než administrativní budova ve Weilheimu. Kritéria komfortu by bylo třeba určit z hlediska rozdílných klimatických regionů, viz též tepelná adaptace v DIN 4108-2. V této době se pracuje na nové směrnici VDI 6018 „Požadavky tepelné a na hygienu vzduchu u místností“, která má též umožnit jednotné zhodnocení letního komfortu.

Pokud jsou kladeny vysoké požadavky na vnitřní klima a stabilitu teploty, vykazují systémy vázané na venkovní vzduch nedostatky. Zde lze využít nezávislou tepelnou zemní jímku, např. chlazením stavebních dílců.

Obě pasivně chlazené administrativní nízkoenergetické budovy prokázaly v létě 2002 svou funkční schopnost. V extrémním létě 2003 nebyly vždy vnitřní teploty ve Fraunhofer ISE v pásmu komfortu, protože budova nemohla kompenzovat dlouhé periody horka tepelnou synchronizací chlazení venkovním vzduchem.

ZÁVĚR: PASIVNÍ CHLAZENÍ SE ZEMNÍM VÝMĚNÍKEM TEPLA A NOČNÍM VĚTRÁNÍM FUNGUJE.

Pasivní chlazení se zemním výměníkem tepla a nočním větráním poskytuje v kancelářích komfortní letní teplotní hladinu. Pasivní chlazení je sice vzhledem

ke své zřejmé jednoduchosti fascinující koncepce, vysoké kvality aplikace může však být dosaženo jen vysokou kvalitou projektování a realizace. Protože podle definice není k dispozici žádný aktivní chladicí systém, aby bylo možno na účet zvýšené spotřeby energie kompenzovat chyby při dimenzování, zhoršila by chybná funkce přímo tepelnou pohodu.

Robustní koncepce budovy a důsledná změna přístupu při projektování a výstavbě, až po uvádění do provozu, zajišťuje v létě tepelnou pohodu v kancelářích. Protože u administrativní budovy Lamparter bylo dosaženo nákladů na stavební konstrukci a technická zařízení pod 1100 €/m², ukazuje to jasně na možnosti nízkoenergetických administrativních budov s pasivním chlazením.

Použité zdroje:

- [1] Internet-Plattform zum Förderprogramm „Energieoptimiertes Bauen“ <http://www.solarbau.de/monitor> [August 2004]
- [2] DIN 1946 „Raumluftechnik“, Teil 2: Gesundheitstechnische Anforderungen. Beuth Verlag 2004.
- [3] de Dear, R., Brager, G.S.: Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings* 34 (2002).
- [4] Boestra, A.C., Raue, A.K., Kurvers, S.K., van der Linden, A.C., Hogeling J.N.M., de Dear, R.: A new dutch adaptive thermal comfort guideline. *Proceedings Healthy Buildings* 2003.
- [5] DIN 4108-2:2003-07 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden“, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Beuth Verlag 2004.
- [6] Busse, F.: Klimaanlage par ordre du mufti? – Zu den Anforderungen an den Wärmeschutz für Arbeitsräume im Sommer. *NJW* 28/2004.

Pramen: Fraunhofer ISE, Rev. 04.10.2004, ISSN 13575 (se souhlasem autorů přeložil Ing. L. Kubíček). ■