

MOŽNOSTI VYUŽITÍ NÍZKOENERGETICKÉHO CHLAZENÍ V REKONSTRUOVANÝCH BUDOVÁCH

Vladimír Zmrhal¹, František Drkal¹, Jan Hensen², Miloš Lain¹

¹České vysoké učení technické v Praze

Technická 4, 166 07 Praha 6

E mail: zmrhal@fsid.cvut.cz

²Center for Building & Systems TNO-TU/e, Group FAGO - V 06H12

Technische Universiteit Eindhoven, P.O. Box 513, 5600 MB Eindhoven, The Netherlands

ANOTACE: Velké množství budov v České republice postavených před rokem 1970 nebylo vybaveno nuceným větráním nebo klimatizací. Se stále rostoucím požadavkem na tepelný komfort zaměstnanců při práci a s celkovým oteplováním, bývají budovy často vybavovány klimatizačním systémem, avšak bez ohledu na spotřebu energie. Článek pojednává o možnostech využití počítačové simulace za účelem zlepšení tepelného komfortu přítomných osob v takto rekonstruovaných kancelářských budovách. Článek rozebírá zejména možnosti využití nočního či denního větrání a chlazení s použitím chladicích stropů při různých druzích zasklení. Článek se rovněž zabývá možností využití stávajících systémů stropního vytápění i pro chlazení.

ABSTRACT: Until the 1970's most office buildings in Czech Republic were not equipped with mechanical cooling (air-conditioning). Due to increasing requirements for thermal comfort and warmer summers, nowadays mechanical cooling is often applied to such buildings however without caring for energy consumption. This paper discusses options for incorporating low energy cooling technologies when retrofitting office buildings in central Europe. Climate analysis, design recommendations and role of computer simulation of building and system in the design process are presented. Applicability of night ventilation, evaporative cooling, and cooled ceiling panels, which can provide optimal thermal comfort in a conditioned space in relation to low energy consumption, will be analyzed. The slab cooling using existing slab heating system is stressed in the paper.

ÚVOD

Spotřeba energie budov činí v Evropě zhruba 40 – 50% celkové spotřeby, z čehož 10% je spotřebováno pro komfortní chlazení v kancelářských budovách. S přibývajícím počtem plně klimatizovaných administrativních budov v České Republice, ať již nových či zrekonstruovaných, roste úměrně i spotřeba energie. Navíc se stále rozmáhá používání počítačových technologií či pomocného elektronického zařízení, což zvyšuje tepelnou zátěž prostoru. Spotřeba energie pro komfortní chlazení tedy tvoří velmi významnou položku. S tím vším je spojen i vliv emisí skleníkových plynů, vzhledem k tomu, že chladicí systémy jsou obvykle elektricky poháněny a elektrická energie v České Republice pochází většinou z uhelných elektráren (Santamouris 1996, Heap 2001).

Na základě Kyotského protokolu se Evropské státy zavázali ke snížení spotřeby energie v budovách a tím snížení emisí

skleníkových plynů do ovzduší. Jednou z možných cest k řešení rozporu mezi stále rostoucím požadavkem na tepelný komfort zaměstnanců při práci a nutností snižování emisí CO₂ je aplikace nízko-energetického chlazení.

TEPELNÝ KOMFORT

Hodnotícím kritériem pro tepelnou pohodu v prostoru podle Nařízení vlády č. 523/2002 Sb., či dle ČSN ISO 7730 je operativní teplota t_o , která respektuje kromě teploty vzduchu t_a i střední radiační teplotu t_r (= účinná teplota okolních ploch, v zahraniční literatuře označovaná jako *MRT – mean radiant temperature*) a rychlost proudění vzduchu w_a .

Operativní teplota je jednotná teplota uzavřeného černého prostoru, ve kterém by tělo sdílelo radiaci a konvekcí stejně tepla, jako ve skutečném nehomogenním prostředí a vypočítá se podle vzorce

$$t_o = At_a + (1 - A)MRT \quad [^{\circ}\text{C}]$$

kde A je funkcí relativní rychlosti proudění vzduchu (od 0,5 do 1). Pokud je rychlost vzduchu menší než 0,2 m/s, operativní teplota je přibližně rovna výsledné teplotě měřené kulovým teploměrem t_g a může být počítána jako průměrná hodnota z teploty vzduchu t_a a střední radiační teploty.

Na tepelnou pohodu má tedy výrazný vliv povrchová teplota okolních ploch. V prostoru s chladícím stropem lze tedy udržovat poněkud vyšší teplotu vzduchu, než je tomu u klimatizačních systémů s konvekčním přenosem tepla.

REKONSTRUKCE KANCELÁŘSKÝCH BUDOV

Kancelářské budovy v České republice mohou být rozděleny do tří hlavních skupin podle konstrukce resp. době stavby.

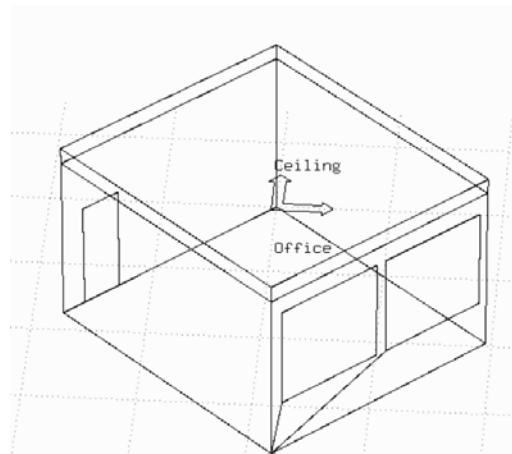
- A. Masivní konstrukce (cihly, beton), plocha oken do 30% venkovní fasády, stavěné do padesátých let minulého století. Budovy většinou nebyly vybaveny klimatizací ani větráním.
- B. Budovy s železobetonovou konstrukcí a s lehkým pláštěm, prosklené plochy tvoří 60% fasády. Standardně stavěné bez klimatizace a umělého větrání. Velké procento současných kancelářských budov v České republice patří právě do této kategorie. Rekonstrukce takového typu budov je tedy aktuálním tématem a vzhledem k tomu, že zde není nucené větrání a prostor pro instalaci vzduchového systému je omezený, tak i možnosti chlazení jsou omezené.
- C. Moderní kancelářské budovy s převážným podílem prosklené fasády, nižší stropy, koberce, obvykle plně klimatizované.

Příspěvek je zaměřen především na budovy typu B a soustřeďuje se na možnosti využití stávajícího vodního systému stropního vytápění i pro chlazení. Dále článek zkoumá vliv přirozeného větrání okny a různé druhy stínění.

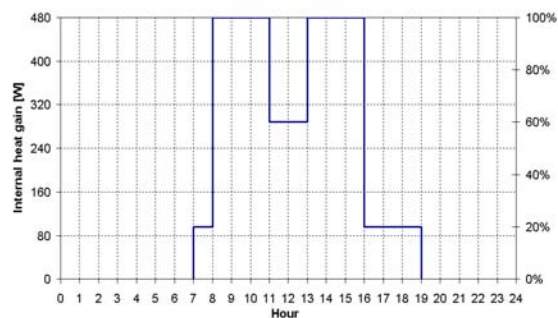
Velké množství budov typu B je vytápěno stropním systémem, většinou známým pod názvem "Crittall". Systém je složen z potrubního systému meandrovitě vloženého do masivní stropní konstrukce a je založen na patentu holanďana J.K.C. van Doorena z roku 1932. Klimatizační systém s chladícím stropem je relativně účinný chladicí systém, který je v poslední době populární zejména pro novostavby v západní části Evropy.

POPIS MODELU

Simulační výpočet byl prováděn na modelu typické kanceláře o půdorysných rozměrech 4,92 x 5,5 m a výšce 3,2 m. Kancelář je orientována směrem na jiho-západ, kde jsou umístěna dvě okna. Celková plocha zasklení tvoří 55% venkovní fasády. Model kanceláře vytvořený v programu ESP-r je zobrazen na obrázku č. 1. Model kanceláře je rozdělen na dvě teplotní zóny a to na zónu kanceláře "office zone" a zónu chladicího stropu "ceiling zone".



Obrázek 1: Model kanceláře v ESP-r



Obrázek 2: Časový průběh působení vnitřních zisků

Vnitřní zisky v místnosti reprezentují tři pracovní místa, tedy osoby (3 x 62 W), každá z nich s osobním počítačem (3 x 40 W) a monitorem (3 x 58 W). Časový průběh působení vnitřních zdrojů během pracovního dne je zobrazen na obrázku 2. Zisky vnitřními stěnami z okolních místností jsou nulové, neboť model uvažuje s tím že okolní místnosti mají stejné teplotní podmínky.

SIMULACE A VÝSLEDKY

Ve zkoumaném případě byly pro zlepšení tepelného komfortu v neklimatizovaném prostoru použity dvě metody pasivního chlazení:

1) snížení tepelných zisků od sluneční radiace stíněním nebo odrazem

2) přirozené větrání

Simulace byly prováděny pro tři základní typy větrání:

V1 pouze infiltrace – intenzita výměny vzduchu $0,5 \text{ h}^{-1}$; po celý den

V2 noční větrání - intenzita výměny vzduchu 5 h^{-1} ; od 18:00 do 7:00

V3 denní větrání oknem - intenzita výměny vzduchu 10 h^{-1} , od 7:00 do 18:00 (když venkovní teplota klesne pod $24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ dojde k zavření okna, resp. nastane větrání základní infiltrace $0,5 \text{ h}^{-1}$)

V modelu jsou dále použity tři typy venkovní fasády:

S1 Standardní dvojitě zasklení, stínící součinitel 0,71

S2 Determální zasklení, stínící součinitel 0,48

S1 Standardní dvojitě zasklení s vnitřními žaluziemi, stínící součinitel 0,2

Všechny případy byly prováděny v kombinaci bez stropního chlazení (C0) a se stropním chlazením (C1). Teplota chladicí vrstvy byla nastavena na $17 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pro 24 hodin denně, 7 dní v týdnu. Kombinací těchto základních případů bylo provedeno 18 různých simulací.

Simulace byly prováděny pro tři letní měsíce, s použitím referenčního roku (hodinová data) pro Prahu.

Některé výsledky v grafické formě pro vybraný čtrnáctidenní časový interval jsou zobrazeny na obrázcích 3, 4 a 5. Výsledky simulací v průběhu všech třech zkoumaných měsíců jsou shrnuty v tabulce 1.

ZÁVĚR

Na základě výsledků simulací je patrné, že všechny tři typy nízkoenergetického chlazení mohou pomoci ke zlepšení tepelného komfortu v kancelářských budovách.

Z výsledků simulací lze doporučit používat determální zasklení se žaluziemi, pokud zde není instalován chladicí systém. Operativní teplota poklesla o 10 K v případě, kdy byla použita pouze infiltrace (obrázek 3. vlevo) a o 5 K pro noční větrání (obrázek 4. vlevo). Přirozené větrání má na vnitřní teplotu ještě větší vliv; je to proto, že ve zkoumaném simulačním výpočtu byla uvažována velmi vysoká hodnota intenzity výměny vzduchu. Ve skutečnosti je poměrně složité takto intenzivního přirozeného větrání dosáhnout a souvisejí s tím i další problémy jakými mohou být např. bezpečnost osob či vznik průvanu.

Stropní chlazení se jeví jako systém, který může, jako jeden z mála, garantovat tepelný komfort v místnosti bez vysokých nároků na spotřebu energie. Efekt stropního chlazení je totiž mnohem výraznější, než u ostatních uvažovaných technologií. Simulační výsledky dokonce ukazují občasné přechlazení kanceláře. Otázka optimální povrchové teploty (teplota vstupní vody) a regulace stropního chlazení bude předmětem dalšího výzkumu.

Tabulka 1: Počet pracovních hodin během třech letních měsíců s operativní teplotou ve specifikovaném intervalu

Operativní teplota	Od Do	18 24 28 32					18 24 28 32				
		18	24	28	32		18	24	28	32	
Větrání	Zasklení	Bez stropního chlazení					Se stropním chlazením				
Infiltrace	Standard	0	0	0	143	583	23	648	55	0	0
Infiltrace	Determální	0	0	74	346	306	41	678	7	0	0
Infiltrace	Žaluzie	0	48	370	271	37	71	655	0	0	0
Noční větrání	Standard	0	104	367	218	37	54	647	25	0	0
Noční větrání	Determální	0	270	337	119	0	74	648	4	0	0
Noční větrání	Žaluzie	5	487	218	16	0	115	611	0	0	0
Denní větrání	Standard	133	415	172	6	0	192	522	12	0	0
Denní větrání	Determální	165	434	126	1	0	216	508	2	0	0
Denní větrání	Žaluzie	227	464	35	0	0	256	470	0	0	0

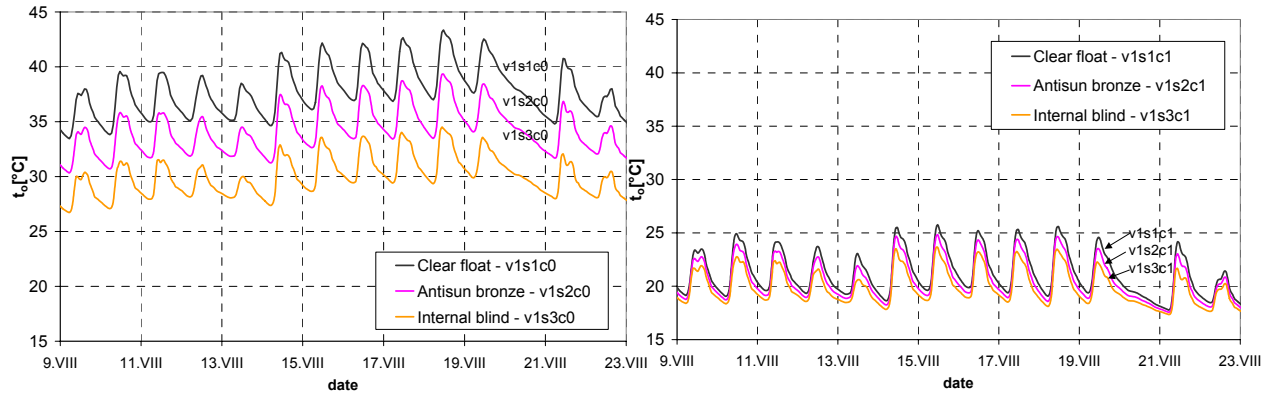


Figure 3: Průběh operativní teploty během dvou vybraných letních víkendů. Výsledky simulací pro infiltraci a různé druhy zasklení. Vlevo bez, vpravo se stropním chlazením.

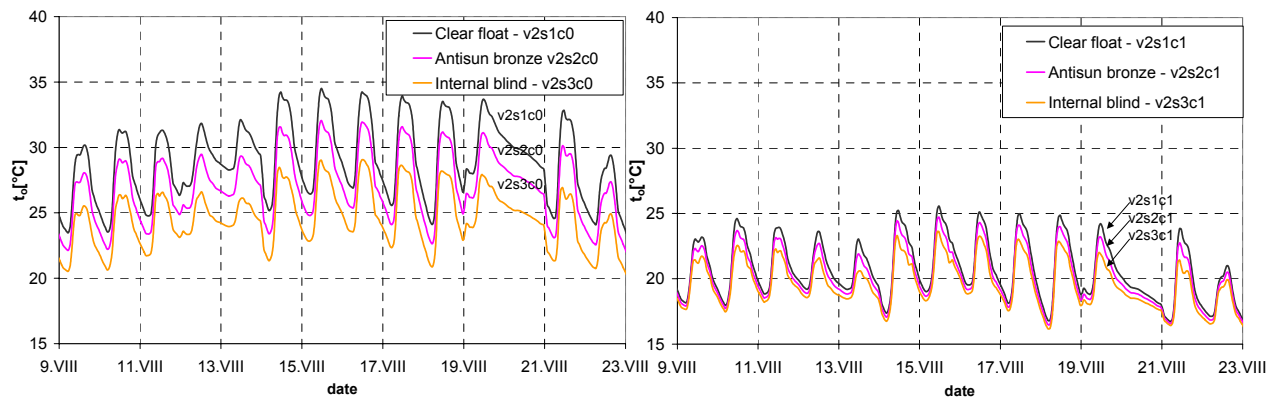


Figure 4: Průběh operativní teploty během dvou vybraných letních víkendů. Výsledky simulací pro noční větrání a různé druhy zasklení. Vlevo bez, vpravo se stropním chlazením.

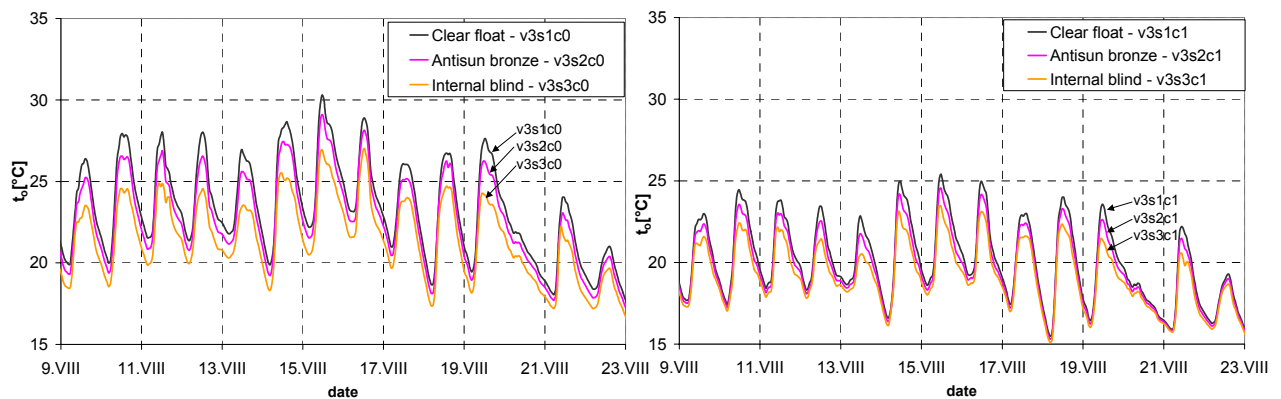


Figure 5: Průběh operativní teploty během dvou vybraných letních víkendů. Výsledky simulací pro intenzivní denní větrání a různé druhy zasklení. Vlevo bez, vpravo se stropním chlazením.

PUBLIKACE

[1] ASHRAE Handbook 2001 Fundamentals, ASHRAE, Atlanta, 2001.

[2] ISO Standard 7730, *Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.*

[3] Loveday, D.L., Parsons, K.C., Taki, A.H., Hodder, S.G., Jeal, L.D., *Displacement ventilation environments with chilled ceilings: thermal comfort design within the context of the BS EN ISO7730 versus adaptive debate.* Energy and Buildings 34, 2002, p. 573 – 579.

[4] Barnard, N., Jaunzens, D., 2001, *Low Energy Cooling – Technology Selection and Early Design Guidance*, Building Research Establishment Ltd, London, 109 p.

[5] Heap, R.D., 2001, *Refrigeration and air conditioning – the response to climate change*, Bulletin of the IIR - No 2001-5.

[6] IEA, 1995, *Review of Low Energy Cooling Technologies*, Natural resources Canada, Ottawa, Canada, 88 p.

[7] Liddament, M.W., 2000, *Low energy cooling*, ESSU, Coventry, U.K., 32 p.

[8] Santamouris, M., Asimakopoulos, D., 1996, *Passive Cooling of Buildings*, James&James Ltd., London, U.K., 472 p.

[9] Nařízení vlády č. 523/2002 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci

[10] Zmrhal, V., Hensen, J., Drkal, F., *Modelling and Simulation of a Room with Radiant Cooling Ceiling*, Proc. of 8th Int. IBPSA Conference Building Simulation 2003, Eindhoven 2003

Příspěvek je součástí výzkumného záměru CEZ MSM 21000011.