



Vyhodnocení možnosti využití systému stropního vytápění k vysokoteplotnímu chlazení

Evaluation of Possibility to Use Ceiling Heating System for High-Temperature Cooling

Recenzent

Ing. Zdeněk Lerl

Článek rozebírá možnosti využití otopných stropů pro letní vysokoteplotní chlazení. Na příkladu velkoplošné kanceláře s použitím matematické simulace diskutuje parametry vnitřního prostředí dosahované při použití primární stropní otopné plochy pro letní chlazení.

Klíčová slova: stropní vytápění, stropní chlazení, matematická simulace

The paper deals with a possible utilization of ceiling heating systems for summer high-temperature cooling. Indoor climate parameters achievable with a primary heating ceiling panel used for summer cooling are discussed on an example of open-space office using mathematical simulation.

Key words: ceiling heating, ceiling cooling, mathematical simulation

Otopné a chladicí stropy v kancelářských budovách zaznamenaly v posledních letech značný rozmach. Multifunkčními stavebními prvky jsou dnes především zavěšené stropy. Stropní vytápění je podstatně starší než stropní chlazení. S postupem doby se však i pro tento způsob vytápění změnily podmínky.

Na základě neustálého vylepšování tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí se zkracují doby provozu vytápění a naopak vzrůstá potřeba chlazení. Dnešní moderní budovy se tak pohybují s měrnou tepelnou ztrátou prostupem okolo 30 W/m^2 a v mnoha prostorách potřebu tepla pokryjí pouze tepelné zisky. Chlazení poté přebírá hlavní úlohu a vytápění se u mnoha nových kancelářských budov omezí pouze na pondělní ráno nebo na požadavek dlouhých provozních přestávek.

Pro porovnání jsme však zvolili starší objekt (ČVUT, FS), který zcela neodpovídá požadavkům ČSN 73 0540. Navrhli jsme vytápění stropními sálavými panely v podhledu velkoplošné kanceláře orientované okny JV a JZ.

Předmětem ověření bylo, zda je možné použít stropní panely, navržené pro vytápění, také k letnímu vysokoteplotnímu chlazení a zda jsou schopny odvést veškerou nebo jen dílčí tepelnou zátěž. Jako vzor byla zvolena místnost velkoplošné kanceláře o rozměrech $14,9 \times 7,7 \times 3,3 \text{ m}$. Okna v delší obvodové stěně místnosti jsou orientována na JV. Kolmá kratší stěna s dalším oknem je orientována na JZ.

Rozměry místnosti a rozmístění panelů včetně jejich velikosti jsou znázorněny na obr. 1. Jak pro zimní, tak letní období bylo uvažováno pouze s infiltrací ($n = 0,5 \text{ h}^{-1}$).

Celková vypočtená teplena ztráta místnosti je $5 235 \text{ W}$. Na tuto tepelnou ztrátu je projektován jmenovitý tepelný výkon stropní otopné plochy. Celková tepelná zátěž místnosti činí $10 130 \text{ W}$. Protože se jedná o velkoplošnou

kancelář s 28 pracovními místy, činí zhruba 80% celkové zátěže tepelná zátěž od kancelářské techniky a osob. Již z rozdílu ztrát a zisků se dá usoudit, že otopná plocha nebude schopna zcela odvést veškerou tepelnou zátěž z místnosti. Jestli je tomu skutečně tak, jsme ověřili výpočtem a rovněž i matematickou simulací.

Pro ověření funkce otopného stropu, použitého pro vysokoteplotní chlazení, v letním období jsme limitování minimální přípustnou povrchovou teplotou stropu s ohledem na teplotu rosného bodu. Pro naši aplikaci a okrajové podmínky vychází teplota rosného bodu $13,5^\circ\text{C}$. V praxi se s ohledem na zaručené zabránění kondenzace, navrhuje povrchová teplota zhruba o 2 až 3 K vyšší, než je teplota rosného bodu vzduchu, který se nachází v okolí panelů. V našem případě tedy nesmí poklesnout teplota povrchu panelů pod $16,5^\circ\text{C}$. Pro výpočet volíme teplotní spád u stropních panelů $17/20^\circ\text{C}$. Střední povrchová teplota panelů tedy bude $18,5^\circ\text{C}$. Výkon stropních panelů spočítáme ze vztahu :

$$Q_{ch} = \alpha \cdot S \cdot (t_i - t_p) \quad [\text{W}]$$

kde

$S [\text{m}^2]$ je plocha panelů stropu

$t_i [^\circ\text{C}]$ je teplota vzduchu v místnosti

$t_p [^\circ\text{C}]$ je střední povrchová teplota panelů

$\alpha [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$ je celkový součinitel přestupu tepla.

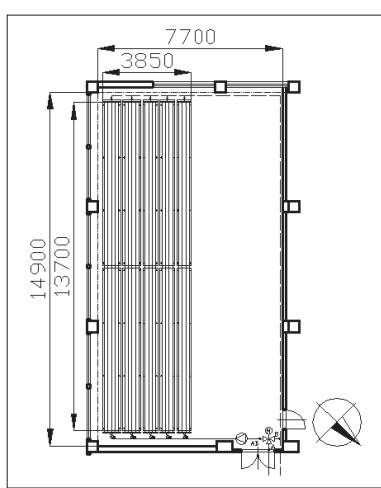
Celkový součinitel přestupu tepla určíme ze vztahu podle [2]:

$$\alpha = 8,92 \cdot (t_i - t_p)^{0,1},$$

kde význam indexů je stejný jako v předešlé rovnici.

V uvedeném vztahu je již uvažován součet součinitelů přestupu tepla konvekci a radiací. Pro naše řešení vychází celkový součinitel přestupu tepla $10,9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Další známé hodnoty jsou účinná plocha stropu $59,36 \text{ m}^2$, výpočtová teplota vzduchu uvnitř místnosti 26°C a povrchová teplota panelů $18,5^\circ\text{C}$. Po dosazení známých hodnot dospejeme k hodnotě chladičího výkonu cca $4 860 \text{ W}$.

V porovnání s celkovou tepelnou zátěží, jejíž hodnota činí $10 130 \text{ W}$, se potvrzuje, že stropní panely navržené pro stropní vytápění nejsou schopny odvést veškerou tepelnou zátěž v letním provozu. Stále ještě zbývá cca $5 270 \text{ W}$, které je třeba odvést jiným způsobem.



Obr. 1 Rozměry místnosti, rozměry OP a orientace místnosti

Budeme-li uvažovat, že v místnosti není provozován jiný zdroj chladu, tepláková bilance prostoru vnitřního vzduchu nám vyjde velmi vysoká cca 49 °C. Při výpočtu se dopustíme chyby tím, že nezapočítáme akumulaci stěn. Výsledná hodnota 49 °C je tedy vyšší, než by byla skutečná hodnota teploty vnitřního vzduchu za daných podmínek. Zde bude teplota skutečně nižší a o kolik, bude mimo jiné výsledkem matematické simulace.

MATEMATICKÁ SIMULACE

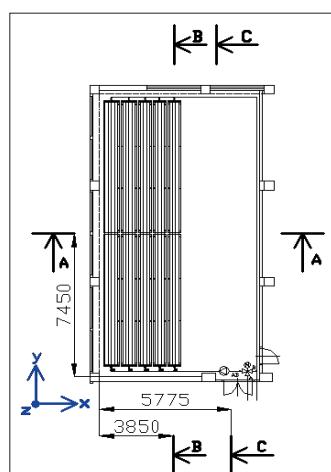
Abychom mohli popsat a vyhodnotit působení jednotlivých veličin v posuzovaném prostoru aplikovali jsme na naší místnosti simulační model v programu Fluent. Předmětem zkoumání byly tři hlavní veličiny, mající největší vliv na pohodlí prostředí při převážném sálavém způsobu vytápění či chlazení. Za měřili jsme se na teplotu vnitřního vzduchu, rychlosť proudění vzduchu a intenzitu sálání. Simulováno bylo letní, i zimní období.

Sledované veličiny pro zimní období jsou vidět na obr. 3, 4 a 5. Stejné veličiny pro letní období jsou na obr. 6, 7 a 8. Umístění řezů v modelu místnosti včetně zvoleného současněho systému je znázorněno na obr. 2.

ZIMNÍ OBDOBÍ

Na obr. 3a je patrné rozložení teploty v řezu A-A. Nad oknem je umístěna stropní otopná plocha. Jak je zřejmé z obrázku, stropní otopná plocha není schopna zcela eliminovat chladné proudy, které se vytvářejí v mezní vrstvě u okna, proudí k podlaze a šíří se dále do místnosti. Další oblast chladného vzduchu, nacházející se v pravé spodní části obrázku, je důsledkem chladných proudů, které se šíří od okna v jihozápadní stěně, nad kterým není přímo umístěna otopná plocha. Tato situace je znázorněna na obr. 3c, řez C-C.

Na zmíněném obrázku 3c je zřetelně vidět, že není-li nad oknem otopná plocha vůbec, zasahují chladné proudy (v obrázcích mají tmavší odstín modré) mnohem dále do místnosti. Rozdíl je nejlépe patrný při porovnání obr. 3c (bez OP nad oknem) a 3b (s OP nad oknem).

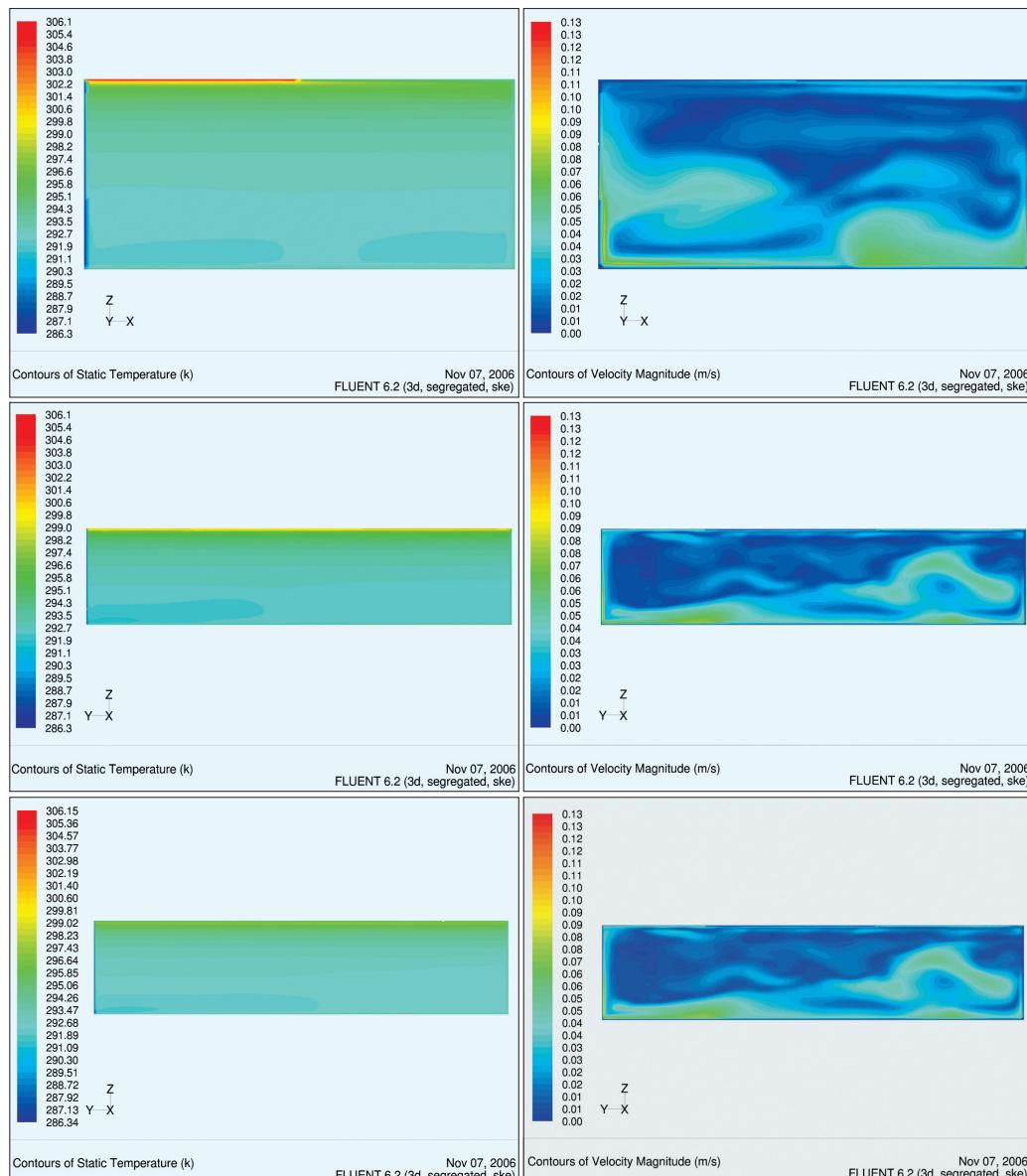


Obr. 2 Umístění řezů a současněho systému v modelu

Matematický model prokázal, že v žádném místě místnosti nedojde k překročení maximální hranice rychlosti proudění vzduchu 0,2 m/s. Ta je důležitá hlavně s ohledem na eliminaci pocitu průvanu.

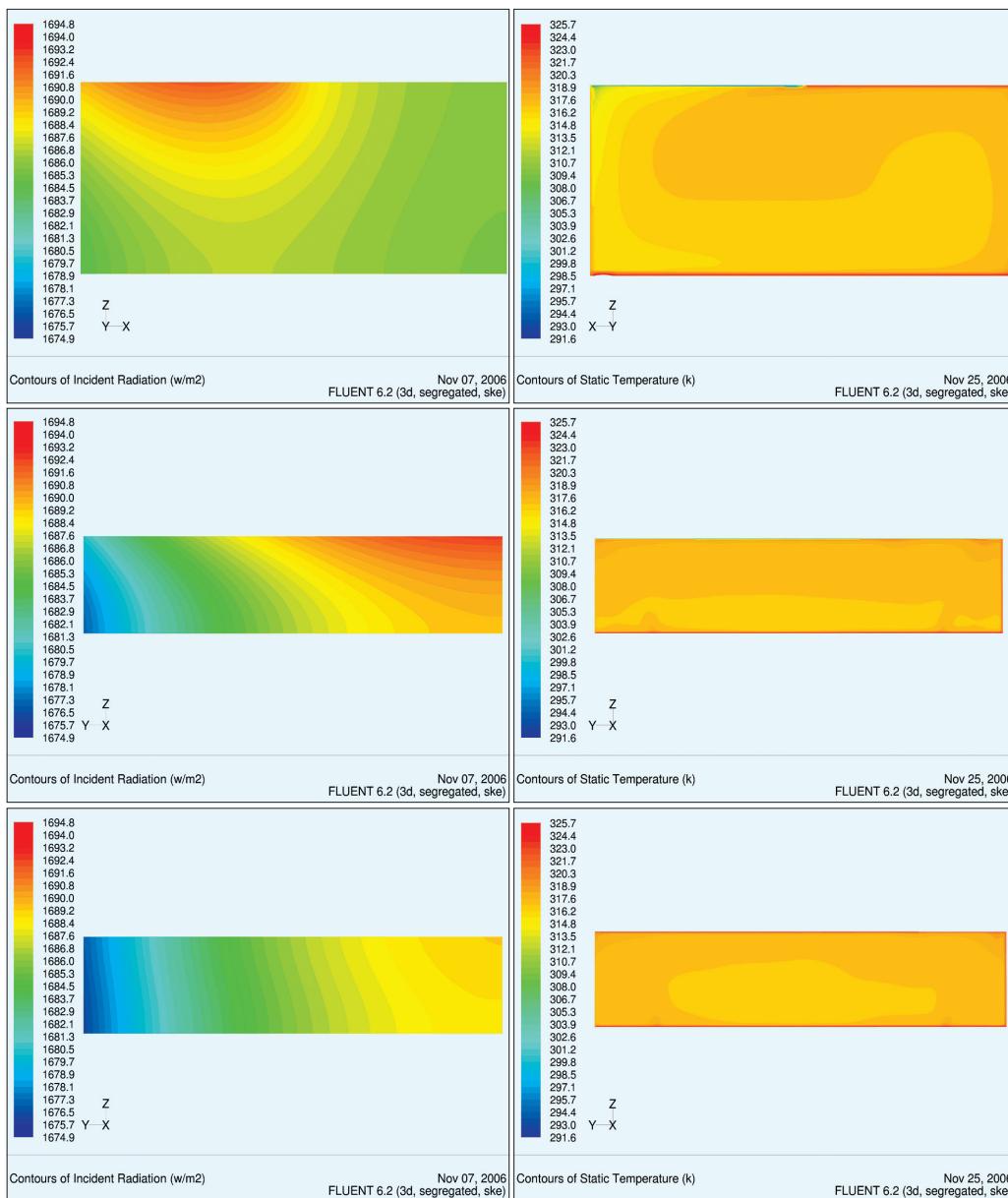
Ze všech vyobrazených řezů je patrné, že rychlosť proudění vzduchu je nejvyšší na stěně pod okny. Příčinou je pohyb chladných proudů vzduchu vznikajících na vnitřním povrchu oken a proudících směrem k podlaze a zároveň vzduch vnikající do místnosti infiltrací. Ovšem ani v tomto místě se zdaleka nepřibližujeme k hranici 0,2 m/s. Nejvyšší hodnota rychlosťi proudění vzduchu v oblasti pobytu osob je zhruba 0,05 m/s.

Intenzitu sálání sledujeme hlavně z důvodu, abychom nepřekročili limit maximální intenzity sálání v oblasti hlavy. Výstupní hodnoty z programu Fluent, které jsou na obrázcích, udávají hodnotu intenzity radiace ze všech směrů. Jedná se vlastně o integrál po celé ploše kolem bodu, ve kterém probíhá výpočet. Správnému výsledku se nejvíce přiblížíme, vydělíme-li tuto hodnotu číslem 4π . Ovšem ani tak nezískáme přesnou hodnotu, ale přiblížíme se do správných řad a pro znázornění poměru sálání v místnosti je tento výsledek dostačující.



Obr. 3 Rozložení teploty vzduchu pro zimní období – vytápění
a) řez A-A; b) řez B-B; c) řez C-C

Obr. 4 Rozložení rychlosťi proudění vzduchu pro zimní období – vytápění
a) řez A-A; b) řez B-B; c) řez C-C



Obr. 5 Rozložení intenzit sálání pro zimní období – vytápění
a) řez A-A; b) řez B-B; c) řez C-C

Jak je možno vidět na obr. 5a, je převážná většina „chladného sálání“ od okna eliminována sáláním otopné plochy. Jak je vidět, spodní část okna a zed' pod oknem je od sálající otopné plochy vzdálena více a intenzita sálání se snižuje. Na obr. 5b je dobře vidět, že je intenzita sálání v oblasti okna s otopnou plochou nad oknem vyšší, než když nad oknem otopná plocha instalovaná není (obr. 5c).

Z obrázku lze odečíst, že v žádném bodě místnosti není překročena limitní hodnota 200 W/m^2 , která je stanovena hygienickou normou pro oblast te-mene hlavy. Bylo tedy ověřeno, že v tomto ohledu je navržená otopná plocha vyhovující.

LETNÍ OBDOBÍ

Jak je z obr. 6a zřejmé, teplota vzduchu uvnitř místnosti vyšla velmi vysoká. Dalo se to očekávat s ohledem na skutečnost, že tepelný tok odvedený chladicím stropem nečiní ani 50 % vypočtené tepelné zátěže. Záměrně nebylo při simulaci použito dodatečné chlazení (např. klimatizační jednotka), aby bylo názorně vidět, co by se v místnosti dělo, kdybychom provo-

zovali pouze chladicí strop navržený primárně pro vytápění bez dodatečné vzduchotechniky.

Stejně jako v zimním období jsou na obrázku i pro letní chlazení patrné chladné proudy, které jsou nyní užitečné. Na rozdíl od zimního období se šíří z chladného povrchu stropu a částečně eliminují tepelnou zátěž. Situace, kdy nad oknem není plocha chladicího stropu a ohřátý vzduch od vnitřní strany okna proudí do místnosti, je názorná na obr. 6c. Na obr. 6b je v podélném řezu vidět situace, kdy je nad oknem instalována chladicí plocha. Teplota v okolí okna je znatelně nižší.

V letním období je situace s rychlosí proudění poněkud odlišná. Nejvyšší hodnoty se dosahuje opět u oken a v jejich bezprostředním okolí. Rychlosti proudění vzduchu jsou mnohem vyšší než v zimním období (cca $0,5 \text{ m/s}$). Maximálních hodnot, které jsou vyobrazeny na obrázku, dosahuje rychlosť proudění vzduchu přímo na vnitřní straně skla, ale na krátké vzdálenosti velmi rychle klesá. Přibyla zde další oblast se zvýšenou rychlosí proudění vzduchu, a to je oblast nad podlahou, v místě, kam dopadají sluneční paprsky. Ty ohřívají podlahu, od ní se konvekcí ohřívá vzduch, který stoupá vzhůru. V ostatních oblastech se rychlosť proudění vzduchu pohybuje do $0,3 \text{ m/s}$. V našem případě, při použití stropního vysokoteplotního chlazení, nedochází ke vzniku nepríjemného průvanu. A to i přes to, že rozdíl teploty vzduchu a povrchové teploty chladicího stropu je značný.

Obr. 6 Rozložení teploty vzduchu pro letní období – vysokoteplotní chlazení
a) řez A-A; b) řez B-B; c) řez C-C

Situace v letním období je opačná než v zimě. Je dobré patrné, že sálavý tepelný tok, který prochází zasklením do místnosti, je eliminován chladnou plochou chladicího stropu. Na dvojici obrázků 8b a 8c je opět patrný rozdíl mezi místy, kde přímo působí chladicí plochy a kde nikoli. Na obr. 8c nad oknem chladicí plocha instalovaná není.

Matematická simulace prokázala neschopnost otopné plochy zcela eliminovat chladné proudy šířící se od okna směrem do místnosti. Nebyla však překročena nejvyšší přípustná rychlosť proudění vzduchu v oblasti pobytu osob a ani maximální povolená intenzita sálání 200 W/m^2 . Můžeme konstatovat, že navržený otopný strop podle matematické simulace zajistuje podmínky tepelné pohody v místnosti a návrh byl vhodný.

V letním období není tatáž plocha stropních panelů schopna zajistit tepelný komfort. Chladicí výkon panelů není dostatečný, a tak vzrostlé teplota uvnitř místnosti až na hodnotu 43°C . Tato teplota se zdá být nesprávná, ale byla kontrolována rovněž přes tepelnou bilanci místnosti a za zadávaných podmínek by byla skutečně takto vysoká. I v tomto případě matema-

tická simulace prokázala, že předpoklady učiněné na začátku, byly správné.

ZÁVĚR

Správně navržená stropní otopná plocha dokáže zajistit podmínky teplé pohody velkoprostorové kanceláře a to i přes to, že není schopna zcela eliminovat proudy chladného vzduchu. Ty vznikají na ochlazované okenní ploše, proudí k podlaze a následně v oblasti nad podlahou směrem do místnosti. Z výsledků matematické simulace je také vidět, že teplota, rychlosť proudění vzduchu a intenzita sálání jsou v oblastech pobytu pod přípustnou hodnotou pro zachování tepelné pohody v místnosti.

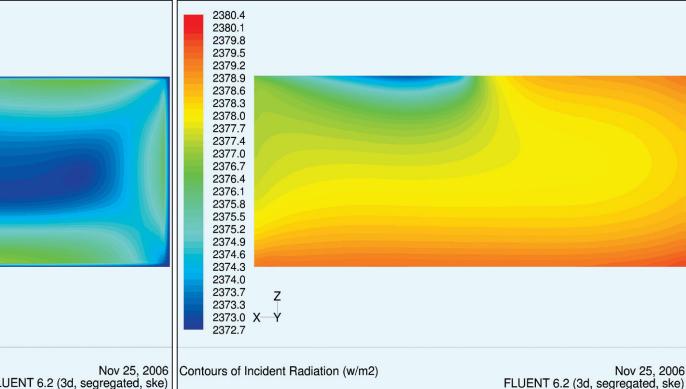
V případě použití otopného stropu pro letní vysokoteplotní chlazení, se potvrdily předpoklady, že plocha panelů není dostatečná pro odvedení celkové tepelné zátěže. Teplota vzduchu uvnitř místnosti zůstává stále příliš vysoká a využití otopné plochy k letnímu chlazení je nedostatečné. Pokud bychom chtěli v naší kanceláři zajistit plnou tepelnou pohodu i v letním období, bylo by nutné využít ještě možností klimatizace, a to i přes to, že jsou všechna okna otevíratelná.

Řešením by mohlo být navržení plochy stropních panelů na podmínky chlazení a následně pak ověřovat, zda by byly zajisteny podmínky tepelné pohody v zimním období a jaký nastavít provozní režim stropních panelů pro zimní období. Výsledky by byly určité příznivější než v případě pouhého využití stropního vytápění pro zlepšení vnitřního klímatu v letním období. O tom je však možné uvažovat pouze tehdy, kalkulujeme-li od samého počátku projektu s využitím stropu pro letní vysokoteplotní chlazení.

Práce vznikla s podporou Výzkumného záměru MSM 6840770011 Technika životního prostředí.

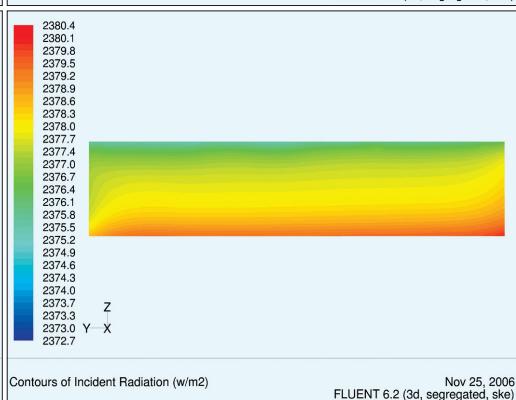
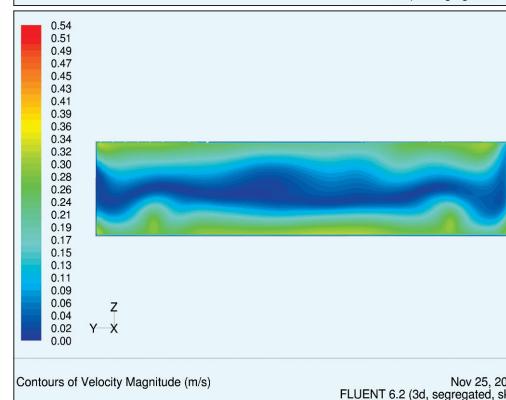
Použité zdroje:

- [1] Lácha, D., Systém vytápění a chlazení. DP12-TŽP-2007, Praha 2007, 60 s.
- [2] Recknagel, Sprenger, Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 94/95. München: R.Oldenbourg Verlag, 1995.s.1061–1067. ISBN 3-486-26213-0.



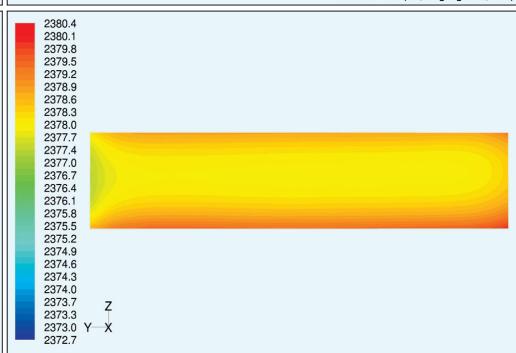
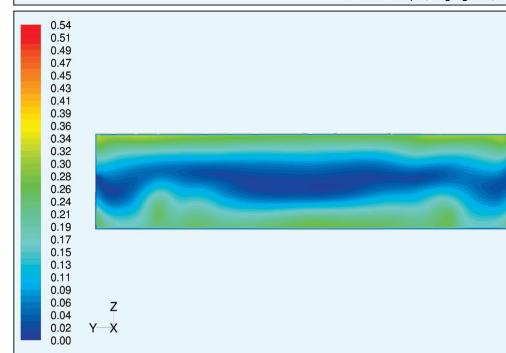
Contours of Velocity Magnitude (m/s) Nov 25, 2006 FLUENT 6.2 (3d, segregated, ske)

Contours of Incident Radiation (w/m2) Nov 25, 2006 FLUENT 6.2 (3d, segregated, ske)



Contours of Velocity Magnitude (m/s) Nov 25, 2006 FLUENT 6.2 (3d, segregated, ske)

Contours of Incident Radiation (w/m2) Nov 25, 2006 FLUENT 6.2 (3d, segregated, ske)

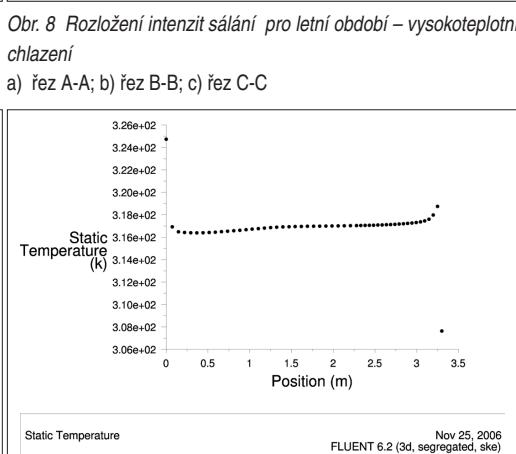
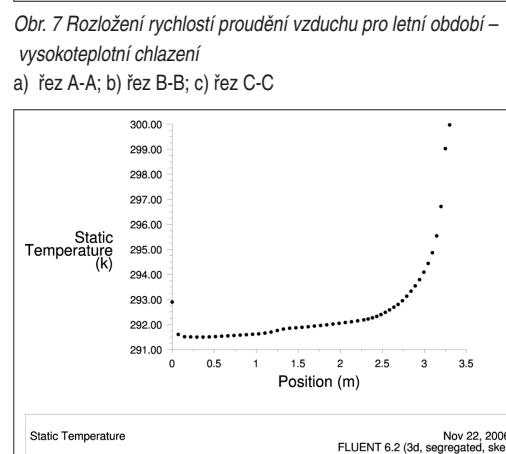


Contours of Velocity Magnitude (m/s) Nov 25, 2006 FLUENT 6.2 (3d, segregated, ske)

Contours of Incident Radiation (w/m2) Nov 25, 2006 FLUENT 6.2 (3d, segregated, ske)

Obr. 7 Rozložení rychlosti proudění vzduchu pro letní období – vysokoteplotní chlazení – a) řez A-A; b) řez B-B; c) řez C-C

Obr. 8 Rozložení intenzit sálání pro letní období – vysokoteplotní chlazení – a) řez A-A; b) řez B-B; c) řez C-C



Static Temperature (K) Nov 22, 2006 FLUENT 6.2 (3d, segregated, ske)

Static Temperature (K) Nov 25, 2006 FLUENT 6.2 (3d, segregated, ske)

Obr. 8 (a) řez A-A: Graf 'Static Temperature (K)' s hodnotami 291.00 až 300.00. Na x-osi je 'Position (m)' od 0 do 3.5. Na y-osi je 'Static Temperature (K)' od 291.00 do 300.00. Přesné hodnoty jsou vyznačeny bodkami.

Obr. 8 (a) řez A-A: Graf 'Static Temperature (K)' s hodnotami 3.06e+02 až 3.26e+02. Na x-osi je 'Position (m)' od 0 do 3.5. Na y-osi je 'Static Temperature (K)' od 3.06e+02 do 3.26e+02. Přesné hodnoty jsou vyznačeny bodkami.

Obr. 8 (a) řez A-A: Graf 'Static Temperature (K)' s hodnotami 291.00 až 300.00. Na x-osi je 'Position (m)' od 0 do 3.5. Na y-osi je 'Static Temperature (K)' od 291.00 do 300.00. Přesné hodnoty jsou vyznačeny bodkami.

Obr. 8 (a) řez A-A: Graf 'Static Temperature (K)' s hodnotami 3.06e+02 až 3.26e+02. Na x-osi je 'Position (m)' od 0 do 3.5. Na y-osi je 'Static Temperature (K)' od 3.06e+02 do 3.26e+02. Přesné hodnoty jsou vyznačeny bodkami.

Obr. 8 (a) řez A-A: Graf 'Static Temperature (K)' s hodnotami 291.00 až 300.00. Na x-osi je 'Position (m)' od 0 do 3.5. Na y-osi je 'Static Temperature (K)' od 291.00 do 300.00. Přesné hodnoty jsou vyznačeny bodkami.

Obr. 8 (a) řez A-A: Graf 'Static Temperature (K)' s hodnotami 3.06e+02 až 3.26e+02. Na x-osi je 'Position (m)' od 0 do 3.5. Na y-osi je 'Static Temperature (K)' od 3.06e+02 do 3.26e+02. Přesné hodnoty jsou vyznačeny bodkami.

Obr. 8 (a) řez A-A: Graf 'Static Temperature (K)' s hodnotami 291.00 až 300.00. Na x-osi je 'Position (m)' od 0 do 3.5. Na y-osi je 'Static Temperature (K)' od 291.00 do 300.00. Přesné hodnoty jsou vyznačeny bodkami.

Obr. 8 (a) řez A-A: Graf 'Static Temperature (K)' s hodnotami 3.06e+02 až 3.26e+02. Na x-osi je 'Position (m)' od 0 do 3.5. Na y-osi je 'Static Temperature (K)' od 3.06e+02 do 3.26e+02. Přesné hodnoty jsou vyznačeny bodkami.

Obr. 8 (a) řez A-A: Graf 'Static Temperature (K)' s hodnotami 291.00 až 300.00. Na x-osi je 'Position (m)' od 0 do 3.5. Na y-osi je 'Static Temperature (K)' od 291.00 do 300.00. Přesné hodnoty jsou vyznačeny bodkami.

Obr. 8 (a) řez A-A: Graf 'Static Temperature (K)' s hodnotami 3.06e+02 až 3.26e+02. Na x-osi je 'Position (m)' od 0 do 3.5. Na y-osi je 'Static Temperature (K)' od 3.06e+02 do 3.26e+02. Přesné hodnoty jsou vyznačeny bodkami.

Obr. 8 (a) řez A-A: Graf 'Static Temperature (K)' s hodnotami 291.00 až 300.00. Na x-osi je 'Position (m)' od 0 do 3.5. Na y-osi je 'Static Temperature (K)' od 291.00 do 300.00. Přesné hodnoty jsou vyznačeny bodkami.

Obr. 8 (a) řez A-A: Graf 'Static Temperature (K)' s hodnotami 3.06e+02 až 3.26e+02. Na x-osi je 'Position (m)' od 0 do 3.5. Na y-osi je 'Static Temperature (K)' od 3.06e+02 do 3.26e+02. Přesné hodnoty jsou vyznačeny bodkami.

Obr. 8 (a) řez A-A: Graf 'Static Temperature (K)' s hodnotami 291.00 až 300.00. Na x-osi je 'Position (m)' od 0 do 3.5. Na y-osi je 'Static Temperature (K)' od 291.00 do 300.00. Přesné hodnoty jsou vyznačeny bodkami.

Obr. 8 (a) řez A-A: Graf 'Static Temperature (K)' s hodnotami 3.06e+02 až 3.26e+02. Na x-osi je 'Position (m)' od 0 do 3.5. Na y-osi je 'Static Temperature (K)' od 3.06e+02 do 3.26e+02. Přesné hodnoty jsou vyznačeny bodkami.