

Ing. Ondřej PAVELKA
prof. Ing. Jiří BAŠTA, Ph.D.
ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
Ústav techniky prostředí

Vliv umístění otopného tělesa v rohové místnosti

Influence of the Radiator Placement in the Corner Room

Recenzent
Ing. Petr Šerks

Příspěvek posuzuje na základě numerických simulací varianty umístění otopného tělesa v rohové vytápěné místnosti se dvěma okny. Na rozdíl od dob minulých, kdy byla v takové místnosti doporučována instalace otopného tělesa pod každé okno, docházíme při zohlednění dnešních doporučených tepelně-technických vlastností stavebních konstrukcí k zajímavým závěrům.

Klíčová slova: otopné těleso, rohová místnost, numerická simulace

The paper assesses, based on numerical simulations, the variant placement of the radiator in a heated corner room with two windows. Unlike in the past times, when the installation of a radiator under each window was recommended in such a room, interesting conclusions are reached when taking into consideration the current recommended thermo-technical properties of the building structures.

Keywords: radiator, corner room, numerical simulation

ÚVOD

Vliv umístění otopného tělesa v místnosti byl sledován s ohledem na teplotní a rychlostní pole. Hodnoceny byly tři varianty umístění otopného tělesa v rohové místnosti se dvěma ochlazovanými stěnami. V obou vnějších stěnách byly okenní konstrukce. Mimo ochlazovaných vnějších stěn bylo uvažováno i s větrným sklepem pod místností.

Místnost byla větrána přirozeně pomocí větracích mřížek v horní části oken. V první variantě byla umístěna otopná tělesa (OT) pod oběma okny. Druhá varianta představovala umístění tělesa pod oknem na kratší ochlazované stěně a v třetí variantě bylo OT umístěno pod oknem na vnější stěně, která je delší. Numerický výpočet byl proveden v simulačním programu Fluent 19.0.

Geometrie

Řešená místnost měla půdorysné rozměry 6×5 m a světlou výšku stropu 3 m. Okna, která se nacházela ve výklenku o hloubce 0,1 m, byla vysoká 1,4 m a dlouhá 1,6 m. Uprostřed místnosti byl umístěn kulový teploměr o průměru 0,15 m pro vyhodnocení výsledné teploty. V každém okně byla větrací mřížka zajišťující potřebnou výměnu vzduchu s intenzitou větrání $0,3 \text{ h}^{-1}$.

Otopná tělesa byla ve všech variantách zastoupena deskami o tloušťce 20 mm. Ve variantě se dvěma OT byla umístěna pod okny jedna deska vy-

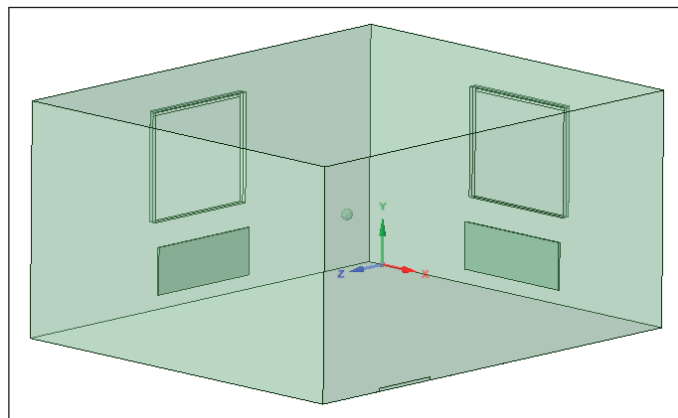
soká 600 mm a dlouhá 1600 mm, představující OT typu $10-600 \times 1600$. Ve variantách pouze s jedním OT ve vytápěném prostoru byly pod oknem vždy dvě desky, které od sebe byly vzdáleny 40 mm. Desky byly vysoké 700 mm a dlouhé 1600 mm, zde desky nahrazovaly otopné těleso typu $20-700 \times 1600$. Otopná tělesa vždy kryla celkovou tepelnou ztrátu.

Numerická síť

Síť byla tvořena kombinací polyhedrálních a hexagonálních buněk a byla vytvořena pomocí síťovacího nástroje programu Fluent 19.0, konkrétně nástrojem Fluent Meshing. Jelikož byl použit numerický výpočet přes celou mezní vrstvu až ke stěně, byla v okolí všech stěn vytvořena vrstva prismatických buněk. První buňka mezní vrstvy měla různou výšku v závislosti na povrchu, u kterého tato buňka byla, tedy zda přiléhala k povrchu otopného tělesa, okna, stěny, či kulového teploměru. Tato výška první buňky byla odvozena z podmínky bezrozměrné výšky první buňky $y^+ = 1$. Celkový počet buněk ve všech variantách se pohyboval pod hodnotou 17,5 milionu.

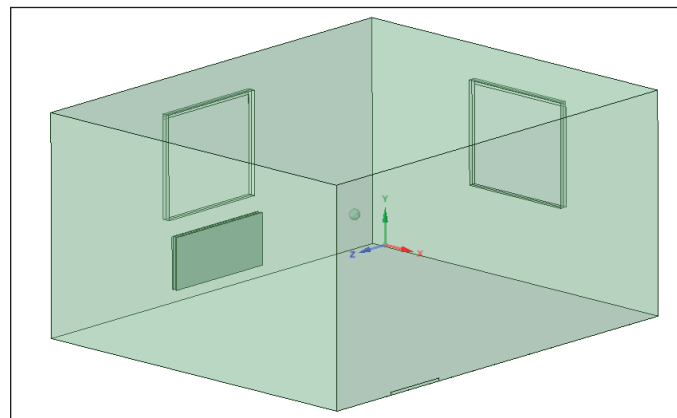
Okrajové podmínky

Během simulace bylo počítáno s venkovní oblastní výpočtovou teplotou $t_e = -12^\circ\text{C}$ a s vnitřní výpočtovou teplotou $t_i = 20^\circ\text{C}$. U všech ochlazovaných konstrukcí byly uvažovány doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, konkrétně pro vnější stěny hodnota 0,2, pro okna 1,2 a pro podlahu $0,4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$. Zbylé stěny přiléhaly k místnostem



Obr. 1 Řešená místnost: varianta č. 1 [2]

Fig. 1 Solved room: variant nr. 1 [2]



Obr. 2 Řešená místnost: varianta č. 3 [2]

Fig. 2 Solved room: variant nr. 3 [2]

vytápěným na stejnou vnitřní výpočtovou teplotu, tudíž s nimi bylo v simulaci počítáno jako s adiabatickou stěnou. Desky zastupující otopná tělesa byly definovány pomocí hustoty tepelného toku.

Pro potřeby výpočtu tepelného toku předávaného sáláním byly pro všechny povrchy vyskytující se v místnosti nastaveny hodnoty emisivity jednotlivých povrchů takto: stěny, strop a podlaha měly emisivitu nastavenou na hodnotu 0,93, u OT bylo uvažováno s hodnotou 0,94, pro okna 0,87. Kulový teploměr disponoval hodnotou 0,99.

Zvolené modely ve Fluentu

Jako řešič byl zvolen Pressure-Based Solver, konkrétně se segregovaným algoritmem pro výpočet rychlostního a tlakového pole. Schémata interpolace byla zvolena druhého řádu přesnosti vyjma schémat pro tlak. Zde bylo nastaveno schéma PRESTO!

Jako model turbulence byl uvažován model $k-\varepsilon$ Realizable bez využití stěnových funkcí, tj. s výpočtem přes mezní vrstvu až ke stěně – nastavení možnosti Enhanced Wall Treatment. Dále byla v této variantě chování modelu $k-\varepsilon$ u stěny zvolena možnost Thermal Effects, která zohledňuje tepelné účinky. Mimo to byly uvažovány také účinky vztlaku, z tohoto důvodu byla nastavena i možnost Full Buoyancy Effects. K účelům výpočtů radiace byl využit model radiace S2S. Tento model zohledňuje pouze záření z povrchu na povrch šedého difuzního tělesa.

Pro potřeby výpočtu přirozené konvekce je nutné, aby se měnila hustota vzduchu v závislosti na teplotě. Proto byl pro stanovení hustoty nastaven model nestlačitelného ideálního plynu, čili hustota byla vypočítávána dle stavové rovnice ideálního plynu.

VÝSLEDKY SIMULACE

Teplotní a rychlostní pole jsou hodnocena ve dvou na sebe kolmých vertikálních řezech, vždy středy OT, resp. středy oken.

Teplotní pole je zobrazováno v absolutních teplotách a oblasti s teplotou mimo zobrazovanou stupnici přebírají barvu nejbližší zobrazované hodnoty.

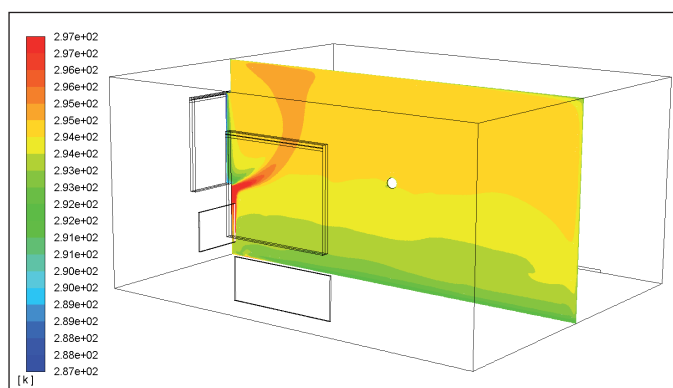
Vertikální teplotní profily jsou vyhodnocovány v blízkosti středu místnosti, oproti středu se jedná o posunutí 0,2 m za model kulového teploměru ve směru od kratší ochlazované stěny.

Posun je způsoben právě kvůli umístění modelu kulového teploměru.

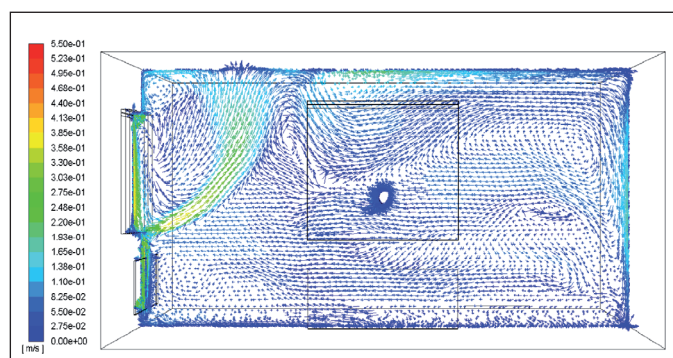
Rychlostní pole je reprezentováno vektory rychlosti, které mají konstantní délku a hodnoty velikosti rychlosti jsou reprezentovány jednotlivými barvami, dle stupnice.

Varianta č. 1

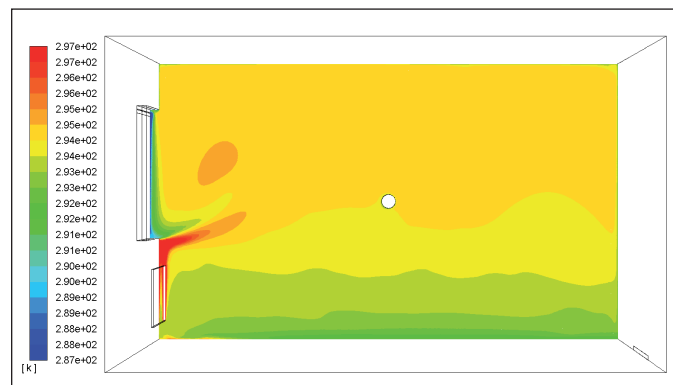
Prvním posuzovaným řezem ve variantě č. 1 je řez vedený kratší z obou ochlazovaných stěn. Na obr. 3 a 4 je vyobrazeno teplotní a rychlostní pole. Stupnice u teplotního pole je uvedena v absolutních teplotách v rozmezí 287 až 297 K. Při pohledu na oba obrázky můžeme pozorovat zcela logický závěr, že rychlostní pole kopíruje pole teplotní. Na obr. 4 lze pozorovat směšování dolů padajícího chladného proudu s teplým konvekčním stoupajícím proudem od otopného tělesa. Ty pak společně proudí ke stropu, kde část směřuje pod stropem k protější stěně. U protější stěny se proud ochlazuje a pozvolna padá k podlaze. Ve středu místnosti v oblasti pod stropem je patrné projevující se proudění od druhého OT. Můžeme konstatovat, že teplotní pole v horní polovině místnosti je značně vyrovnané a rychlost proudění v oblasti nad podlahou dosahuje maximální hodnoty 0,1 m.s⁻¹.



Obr. 3 Teplotní pole ve vertikálním řezu vedeném středem OT na kratší stěně [2]
Fig. 3 Temperature field in the vertical cross-section through the centre of the radiator placed at the shorter wall [2]



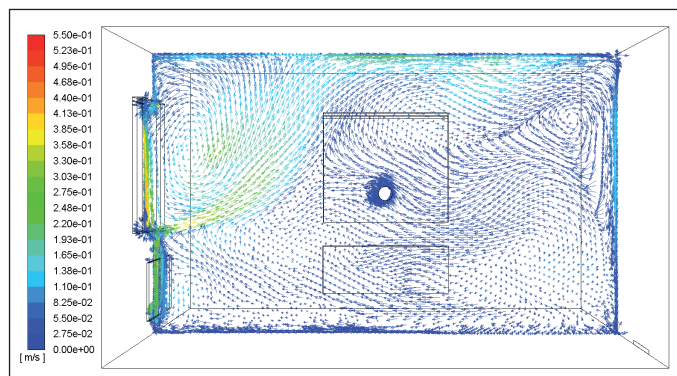
Obr. 4 Rychlostní pole ve vertikálním řezu vedeném středem OT na kratší stěně [2]
Fig. 4 Velocity field in the vertical cross-section through the centre of the radiator placed at the shorter wall [2]



Obr. 5 Teplotní pole ve vertikálním řezu vedeném středem OT na delší stěně [2]
Fig. 5 Temperature field in the vertical cross-section through the centre of the radiator placed at the longer wall [2]

Druhým řezem je vertikální řez středem tělesa na druhé z obou ochlazovaných stěn. V tomto řezu zasahuje výsledný proud dále do hloubky místnosti a následně opět stoupá až ke stropu, kde se část proudu vrací zpět k oknu a část směřuje opět k protější stěně. Teplotní pole v horní polovině místnosti je opět značně vyrovnané.

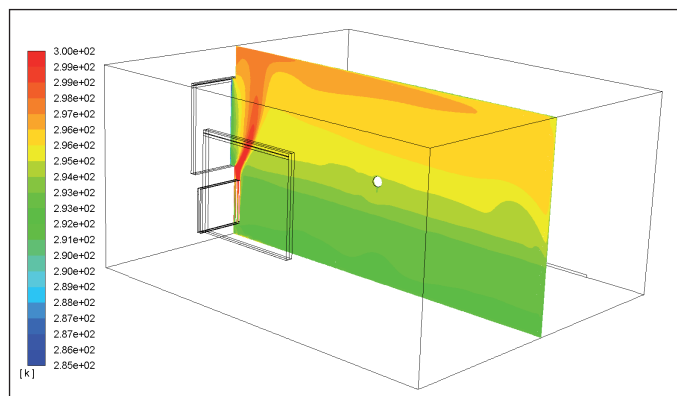
Na obr. 5 je patrná oblast teplejšího proudu vzduchu nad oblastí dvou směšujících se proudů. Lze se domnívat, že je to způsobeno celkovým prouděním v místnosti, kdy se část teplého proudu dostává z boku nad výsledný smíšený proud.



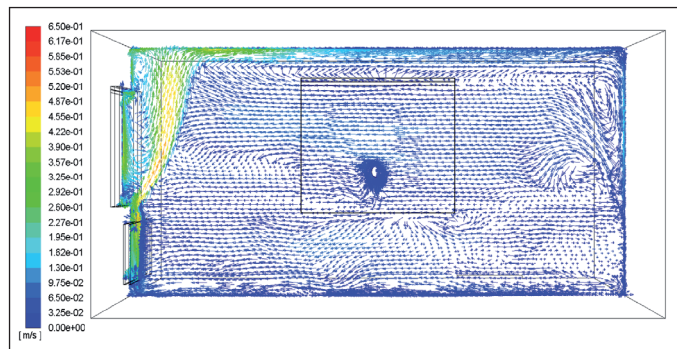
Obr. 6 Rychlostní pole ve vertikálním řezu vedeném středem OT na delší stěně [2]
Fig. 6 Velocity field in the vertical cross-section through the centre of the radiator placed at the longer wall [2]

Varianta č. 2

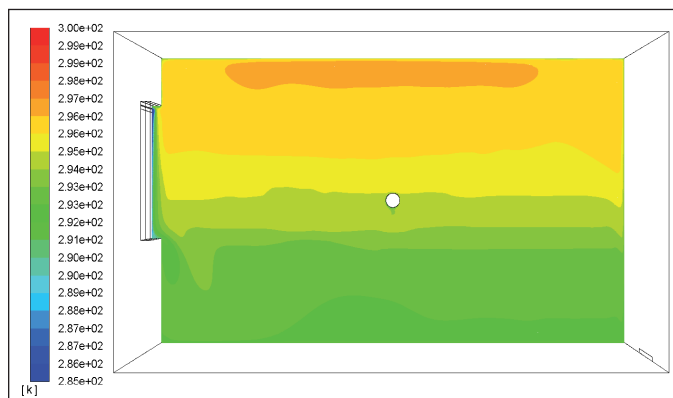
V této variantě je u teplotního pole stupnice uvedena opět v absolutních teplotách, ale na rozdíl od varianty č. 1 v rozmezí 285 až 300 K, resp. 11,85 až 26,85 °C. Prvním vertikálním řezem je opět řez středem OT, které je umístěno na kratší z obou ochlazovaných stěn. Díky tomu, že je OT tvořeno dvěma deskami, tj. jedná se o vyšší typ deskového OT, je teplý konvekční proud od OT silnější a je jen mírně vychýlen dolů padajícím chladným konvekčním proudem podpořeným chladným větracím vzduchem od mřížky. Teplý proud stoupá téměř ihned ke stropu, kde se rozlévá a část směřuje k protější stěně. Teplotní pole je na rozdíl od předchozí varianty vyrovnanější v dolní části místnosti.



Obr. 7 Teplotní pole ve vertikálním řezu vedeném středem OT na kratší stěně – varianta č. 2 [2]
Fig. 7 Temperature field in the vertical cross-section through the centre of the radiator placed at the shorter wall – variant nr. 2 [2]

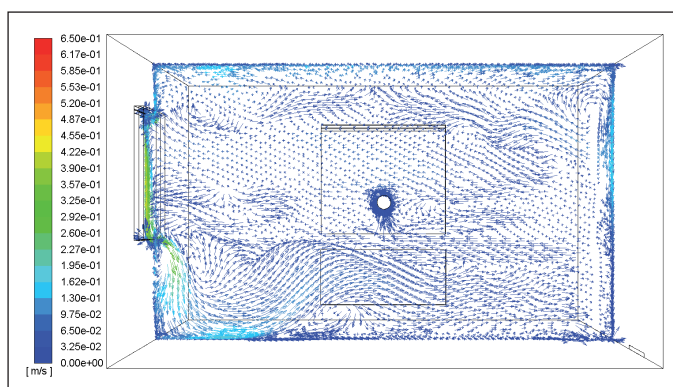


Obr. 8 Rychlostní pole ve vertikálním řezu vedeném středem OT na kratší stěně – varianta č. 2 [2]
Fig. 8 Velocity field in the vertical cross-section through the centre of the radiator placed at the shorter wall – variant nr. 2 [2]



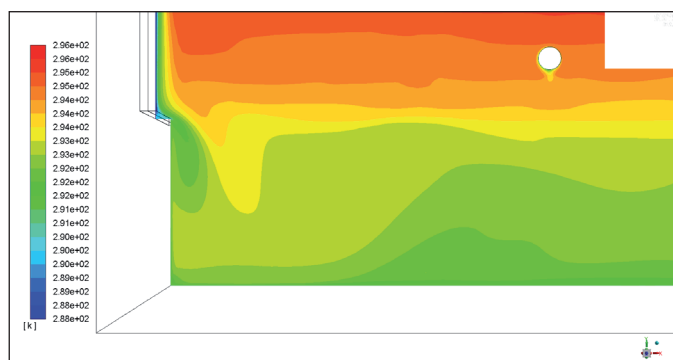
Obr. 9 Teplotní pole ve vertikálním řezu vedeném středem OT na delší stěně – varianta č. 2 [2]

Fig. 9 Temperature field in the vertical cross-section through the centre of the radiator placed at the longer wall – variant nr. 2 [2]



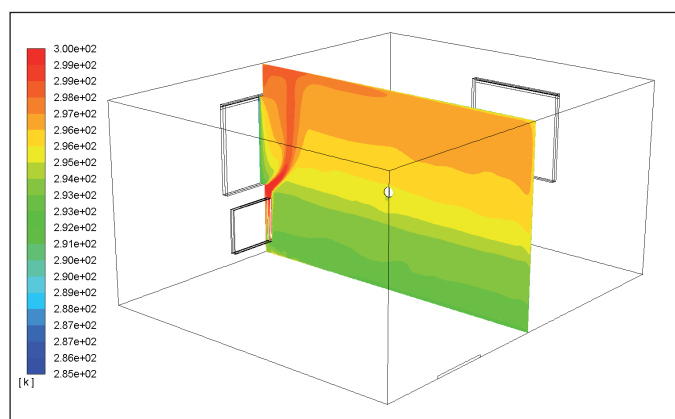
Obr. 10 Rychlostní pole ve vertikálním řezu vedeném středem OT na delší stěně – varianta č. 2 [2]

Fig. 10 Velocity field in the vertical cross-section through the centre of the radiator placed at the longer wall – variant nr. 2 [2]



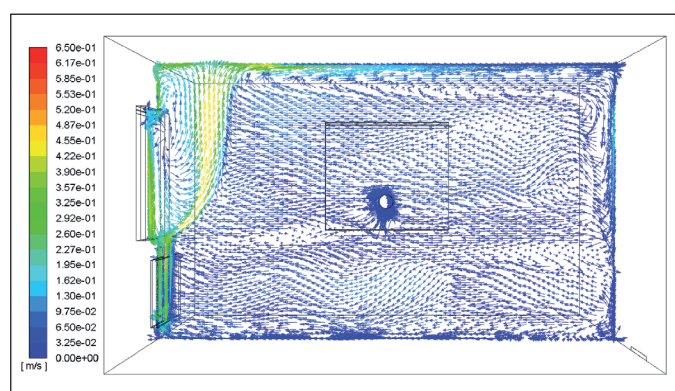
Obr. 11 Detail teplotního pole pod oknem v delší ochlazované stěně [2]
Fig. 11 Detail of the temperature field below the window in the longer cooled wall [2]

Obr. 9 a 10 ukazují teplotní a rychlostní pole ve druhém vertikálním řezu. V této variantě se jedná o řez středem okna, pod kterým není umístěno otopné těleso. Na obr. 10 je patrný dolů padající chladný proud, který za hranou okenního výklenku strhává okolní teplejší vzduch a směřuje se s ním. Společně pak postupují dolů k podlaze. U podlahy proud postupně ztrácí svou hybnost a díky tomu, že je již teplejší než vzduch v oblasti těsně u podlahy (pod podlahou je větráný sklep), mírně stoupá přibližně v jedné třetině hloubky místnosti a směřuje dále k protější stěně. Rychlost proudění v oblasti kotníků dosahuje hodnoty max. 0,18 m.s⁻¹.



Obr. 12 Teplotní pole ve vertikálním řezu vedeném středem OT na delší stěně – varianta č. 3 [2]

Fig. 12 Temperature field in the vertical cross-section through the centre of the radiator placed at the longer wall – variant nr. 3 [2]



Obr. 13 Rychlostní pole ve vertikálním řezu vedeném středem OT na delší stěně – varianta č. 3 [2]

Fig. 13 Velocity field in the vertical cross-section through the centre of the radiator placed at the longer wall – variant nr. 3 [2]

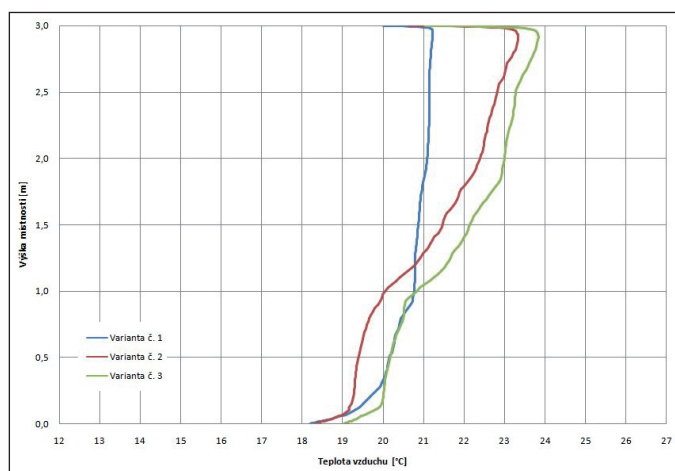
Obr. 11 ukazuje detail teplotního pole pod oknem, které v podstatě kopíruje pole rychlostní. Stupnice má rozsah 288 až 296 K. Patrné je již zmíněné strhávání okolního teplejšího vzduchu. Na modelu kulového teploměru (vpravo nahoře) můžeme vidět značný vliv chladné podlahy.

Varianta č. 3

V této variantě je deskové OT typu 20 umístěno na delší ochlazované stěně pod oknem. Výsledky simulace ukazují, že charakter rozložení teplot a rychlostního pole jsou velmi podobné výsledkům z varianty číslo dvě, což je vidět na obr. 12 a 13. Teplý stoupající konvekční proud, podobně jako ve variantě č. 2, je jen mírně vychýlen a stoupá ke stropu. Pod stropem část proudu směřuje k oknu, strhávána hybností proudu vzduchu od větrací mřížky, a druhá část proudu se rozlévá pod stropem dále do místnosti. Vzduch v místnosti se opět vrací převážně k otopnému tělesu a ke stoupajícímu teplému proudu. Charakter proudových a teplotních polí se velmi podobá variantě č. 2.

Vertikální teplotní profily

Vertikální teplotní profily se stanovují ve svislé ose vedené středem místnosti. V našem modelu byla osa středu posunuta o 0,2 m ve směru od okna v kratší z obou ochlazovaných stěn. Posunutí mimo geometrický střed bylo cíleně voleno tak, aby umístění modelu kulového teploměru právě v geometrickém středu místnosti neovlivnilo teploty. Vertikální teplotní profily pro všechny tři varianty jsou zobrazeny na obr. 14.



Obr. 14 Vertikální teplotní profily u geometrického středu místnosti [2]

Fig. 14 Vertical temperature profiles at the geometric centre of the room [2]

Nejlepší hodnoty celkového výškového teplotního gradientu dosahuje varianta č. 1, konkrétně s hodnotou 3 K na celou výšku místnosti. Avšak do výšky jednoho metru je hodnota výškového teplotního gradientu 2,5 K.m⁻¹, což je naopak ze všech variant nejhorší výsledek. Tento fakt je způsoben především tím, že je podlaha ochlazovanou konstrukcí. Zlepšení by nastalo při snížení součinitele prostupu tepla podlahy. Stále se však pohybujeme pod hraniční hodnotou výškového teplotního gradientu 3 K.m⁻¹ pro trvalý pobyt sedících osob.

Vertikální teplotní profily ve variantách 2 a 3 mají téměř stejný průběh. Hodnota celkového výškového teplotního gradientu je v obou variantách přibližně 5 K, vztahováno na celou výšku místnosti. Do výšky jednoho metru můžeme pozorovat výškový teplotní gradient pohybující se pod hodnotou 2 K.m⁻¹.

Pokud se zaměříme na oblast od výšky 0,3 m do výšky 1 m pro sedící osobu, můžeme konstatovat, že vertikální teplotní profily vykazují zanedbatelné odchylky a s ohledem na hodnocení tepelného komfortu jsou zcela srovnatelné.

Střední radiační teplota

Na závěr byla simulována také hodnota střední radiační teploty. Simulace proběhla na totožném geometrickém modelu, kdy bylo využito teplotních polí na jednotlivých površích získaných z prvotní simulace proudění a přenosu tepla sáláním a konvekcí. Teplotní pole byla využita jako okrajová podmínka pro všechny povrchy, mimo kulového teploměru, prostřednictvím kterého se střední radiační teplota vyhodnocovala.

Jelikož byly výsledné teploty v jednotlivých variantách mírně rozdílné, jsou absolutní hodnoty střední radiační teploty neporovnatelné, proto byl vyhodnocován rozdíl výsledné a střední radiační teploty.

Na základě hodnot v tab. 1 nepozorujeme zásadní rozdíly mezi jednotlivými variantami. Přesto je varianta č. 1 z pohledu sdílení tepla sáláním

Tab. 1 Hodnoty t_g a rozdílu $t_g - t_r$

Tab. 1 Values of t_g and $t_g - t_r$ difference

	t_g	$t_g - t_r$
	[°C]	[K]
Varianta č. 1	19,9	0,43
Varianta č. 2	20,1	0,66
Varianta č. 3	20,8	0,54

nejpříznivější. Lepší výsledek, s ohledem na sdílení tepla sáláním uprostřed místnosti ve variantě č. 3 oproti variantě č. 2, je způsoben umístěním OT blíže středu místnosti, resp. blíže kulovému teploměru.

Minimální rozdíly jsou způsobeny především současnými požadavky na tepelně-technické vlastnosti stavebních konstrukcí, kdy i povrchové teploty ochlazovaných konstrukcí jsou relativně vysoké oproti hodnotám dosahovaným v minulosti, resp. dosahovaným pro konstrukce s horšími než doporučenými hodnotami součinitele prostupu tepla.

ZÁVĚR

Dle výsledků numerické simulace se jako nejlepší varianta jeví varianta číslo 1, s ohledem na osálení člověka ve středu místnosti, na rychlost proudění v oblasti kotníků a na teplotní profil po celé výšce místnosti. Teplotní profil je od výšky jednoho metru značně vyrovnaný a rychlost v oblasti kotníků dosahuje maximálně $0,1 \text{ m.s}^{-1}$. Ve zbývajících variantách se rychlosti proudění u podlahy ani nepřibližují k hraniční hodnotě $0,25 \text{ m.s}^{-1}$ pro oblast trvalého pobytu sedících osob. V obou variantách dosahuje chladný proud u podlahy, pod oknem bez OT, rychlosti přibližně $0,18 \text{ m.s}^{-1}$.

Pokud budeme posuzovat čistě parametry tepelného komfortu, bude umístění dvou otopných těles, tj. pod každé okno jedno, zřejmě nejlepší volbou, avšak při současných tepelně-technických vlastnostech stavebních konstrukcí nevykazují zbylé dvě varianty o mnoho horší výsledky. V některých parametrech dosahují i výsledků lepších, konkrétně ve výškovém teplotním profilu, resp. gradientu, do jednoho metru výšky místnosti.

Po přihlédnutí také k hledisku ekonomickému, kdy pořízení a instalace jednoho otopného tělesa, byť vyššího typu, vychází výhodněji, než je tomu u těles dvou, můžeme konstatovat, že v současné době lze pro rohovou místnost, se dvěma ochlazovanými stěnami a dvěma okny v nich, navrhovat pouze jedno otopné těleso. S ohledem na osálení osoby pohybující se ve středu místnosti je lepší umístit těleso na ochlazovanou stěnu delší, tedy blíže středu místnosti, samozřejmě záleží na využívání místnosti, potažmo lokaci oblasti trvalého pobytu osob v prostoru.

Přestože matematická simulace byla provedena s určitými zjednodušeními a bylo by vhodné i experimentální ověření výsledků, dovolujeme si tvrdit, že pokud stavba splňuje tepelně-technické parametry dnešní ČSN 73 0540, není již potřeba s ohledem na zajištění tepelného komfortu instalovat do rohové místnosti dvě OT (pod každé okno jedno), ale stačí navrhovat pouze jedno OT pokrývající tepelnou ztrátu celé místnosti.

Kontakt na autory: Ondra14ondra@seznam.cz; jiri.basta@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] BAŠTA, J. *Otopné plochy – otopná tělesa*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2. přep. vyd., 2016. 206 s. ISBN 978-80-01-05943-2.
- [2] PAVELKA, O. *Umístění otopného tělesa ve vytápěné místnosti*. Praha, 2018. Diplomová práce. ČVUT, Fakulta strojní.
- [3] ANSYS, *Fluent Theory Guide*. Release 19.0, Inc. and ANSYS Europe, January 2018. 848 s.

■ Designové radiátory ■ **Komfortní větrání** ■ Stropní systémy pro vytápění a chlazení ■ Zařízení pro čištění vzduchu

Vždy to nejlepší klima pro

PLNOU DŮVĚRU

Komfortní větrání s rekuperací tepla Zehnder: zaručeně čerstvý vzduch s prodlouženou zárukou 5 let www.zehnder.cz/plus_zaruka_5

zehnder
always the
best climate

Plus-
záruka
5 let