

# Počítačová simulace proudění chladného vzduchu podél svislé stěny

## Computer simulations of cold air flow along vertical wall

Ing. Jan SCHWARZER  
Ing. Martin BARTÁK,  
Prof. Ing. František DRKAL, CSc.,  
Ing. Miloš LAIN,  
ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav  
techniky prostředí

Príspevek uvádí výsledky počítačových simulací chování chladného vzduchu proudícího nízkou rychlostí podél svislé stěny v závislosti na teplotním rozdílu vzhledem k okolnímu prostředí a v závislosti na vzdálenosti od zdroje proudu. Praktickým využitím znalostí je možné dosáhnout úspor vzhledem k vynaložené energii na výrobu chladu, je možné vytvářet tzv. vzduchové oázy chladu, bez nutnosti chladit celý prostor, není-li to nezbytně nutné.

**Klíčová slova:** počítačová simulace, obrazové galerie, chladný proud

The article deals with the description of implemented computer simulations of behaviour of cold air flowing with low velocity along vertical wall in dependence on the temperature difference with regard to surrounding atmosphere and in dependence on the distance from the flow source. By practical utilisation of the knowledge it is possible to attain savings with regard to energy expended for the cold production, it is possible to create the so called air oases of cold, without necessity of cooling the whole space in case that it is not indispensably necessary.

**Key words:** computer simulation, picture gallery, cold flow

## ÚVOD

Chování chladného vzduchu proudícího nízkou rychlostí podél svislé stěny v závislosti na teplotním rozdílu vzhledem k okolnímu prostředí a v závislosti od zdroje proudu v prostoru, není v současné době dostatečně popsáno v podobě využitelné pro praktické aplikace.

Praktickým využitím znalostí bude možno dosáhnout úspor vzhledem k vynaložené energii na výrobu chladu (vytváření tzv. vzduchových oáz chladu, bez nutnosti chladit celý prostor).

Konkrétním příkladem mohou být instalace vzácných historických děl ve veřejných galeriích, vyžadujících speciální mikroklima, odlišné od mikroklimatu vhodného pro člověka. Obecně se tímto odlišným mikroklimatem rozumí stabilně nižší teplota a vyšší vlhkost.

Na Ústavu techniky prostředí byla řešena instalace velkoplošných obrazů při dodržení podmínek, které vyžadoval Státní ústav památkové péče. Vhodné mikroklima bylo stanoveno odlišně pro zimní a letní období (tab. 1).

Tab. 1 – Požadované teploty vzduchu podél obrazu a v prostoru

Období	Teplota vzduchu podél obrazu (vertikální rozměr) $t_0$ [°C]	Teplota v prostoru $t_e$ [°C]
Zima	16 ± 1	20 ± 1
Léto	20 ± 1	24 ± 1

Značení teplot:

$t_0$  [°C] požadovaná teplota podél obrazu

$t_e$  [°C] teplota okolí

$t_p$  [°C] teplota přiváděného vzduchu

$t$  [°C] skutečná teplota podél obrazu

Rozměry analyzovaného obrazu jsou: **8,1 m x 6,1 m**

Rozměry panelu, na kterém jsou obrazy instalovány: **8,3 m x 8,3 m**.

Na každém instalačním panelu jsou umístěny dva obrazy, vždy po obou stranách.

## ŘEŠENÍ

Případ byl řešen simulačním softwarem Fluent ve dvou fázích:

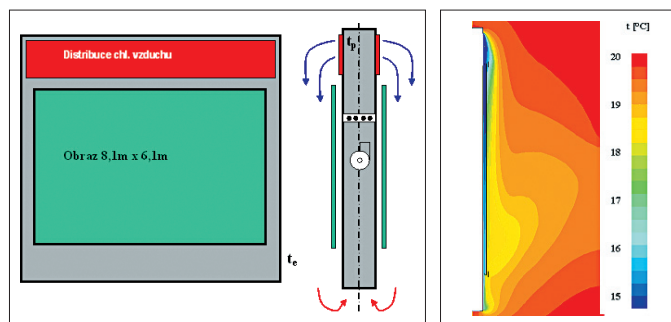
- návrh vhodné distribuce chladného vzduchu v rovině (2D),
- řešení zvoleného případu v prostoru (3D).

### 2D model

Na počátku bylo zkoumáno několik variant distribuce chladného vzduchu vzhledem k nejpříznivějšímu charakteru proudění. Z důvodu urychlení práce byly předběžné výpočty ve 2D.

#### Volba distribuce chladného vzduchu

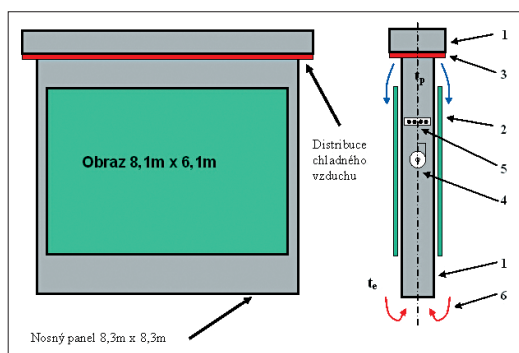
Nejprve byl volen výdechový otvor nad obrazem ve vertikální poloze. Předpoklad, že chladný proud vzduchu o velmi nízké rychlosti bude padat podél obrazu se však nepotvrdil. Na obr. 1 je znázorněno schéma umístění distribuce vzduchu, Na obr. 2 je znázorněno výsledné teplotní pole pro zimní období.



Obr. 1 – Přední a boční pohled na velkoplošný obraz a instalační panel: umístění distribuce chladného vzduchu ve vertikální poloze nad obrazem

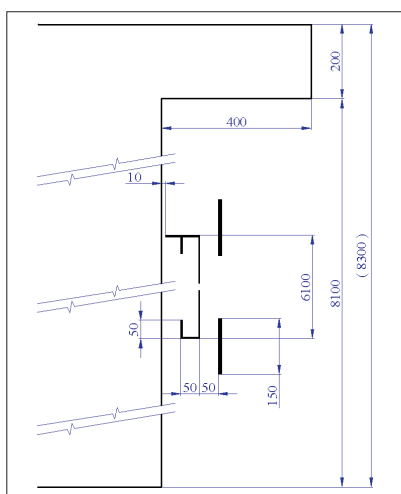
Obr. 2 – Průběh teploty podél obrazu – horizontální vyústka  
Teplota na spodní části obrazu  $t = 18$  °C

V druhém přístupu se výdechový otvor volil v horizontální poloze. Během řešení se ukázala nevhodnější geometrie znázorněná schématicky na obr. 3. Na obr. 4 jsou přesné a konečné rozměry zvolené geometrie jak výdechového otvoru, tak i horní náběhové lišty konstrukce rámu obrazu.

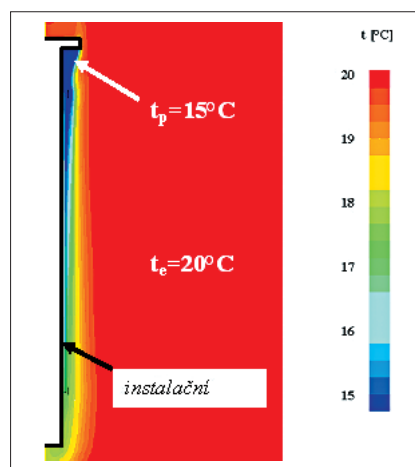


Obr. 3 – Přední a boční pohled na velkoplošný obraz a instalační panel

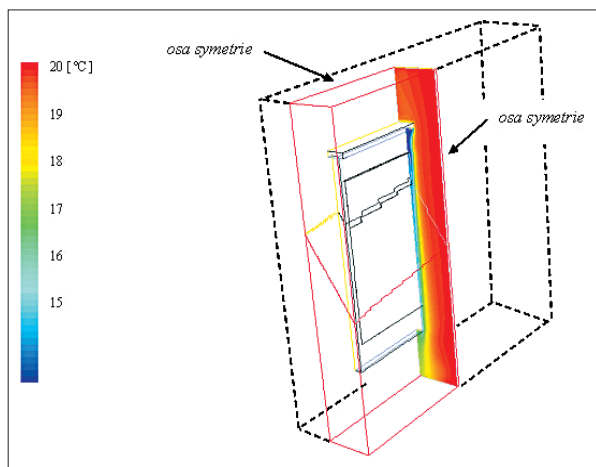
1 – instalační panel, 2 – velkoplošný obraz, 3 – výdech chladného vzduchu, 4 – ventilátor, 5 – chladič, 6 – sání vzduchu o okolní teplotě do panelu



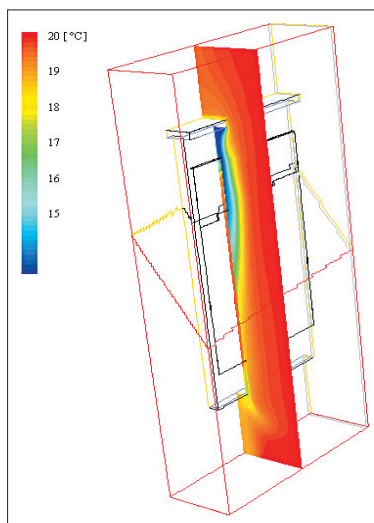
Obr. 4 – Detailní geometrie velkoplošného obrazu



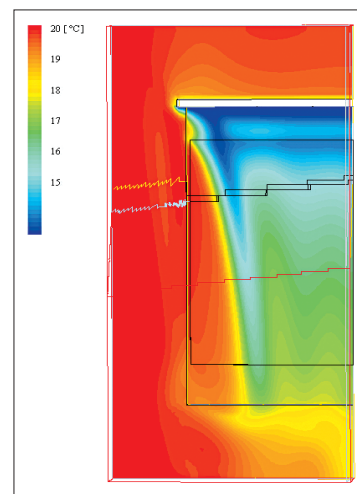
Obr. 5 – Teplotní pole podél obrazu pro zvolenou variantu; zimní stav ( $t_o = 16\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ,  $t_e = 20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ )



Obr. 6 – Teplotní pole podél obrazu pro zvolenou variantu – svislý řez v ose symetrie; zimní stav ( $t_o = 16\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ,  $t_e = 20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ )



Obr. 7 – Teplotní pole podél obrazu pro zvolenou variantu – svislý řez 3m od osy symetrie; zimní stav ( $t_o = 16\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ,  $t_e = 20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ )



Obr. 8 – Teplotní pole podél obrazu pro zvolenou variantu

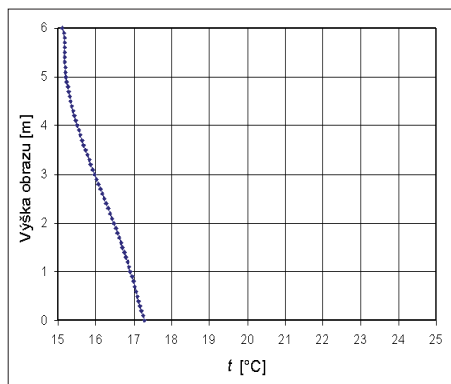
a) podélný řez 1 mm od plochy plátna, b) podélný řez 100 mm od plochy plátna; zimní stav ( $t_o = 16\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ,  $t_e = 20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ )

Vzduch o okolní teplotě  $t_o$  je nasáván do instalačního panelu (1). V něm je umístěn ventilátor (4) a chladič (5). Upravený, ochlazený vzduch je přiváděn do horní části panelu, odkud se vyfukuje svisle dolů (3). Objemový průtok vzduchu byl stanoven na  $V = 3000\text{ m}^3/\text{h}$ .

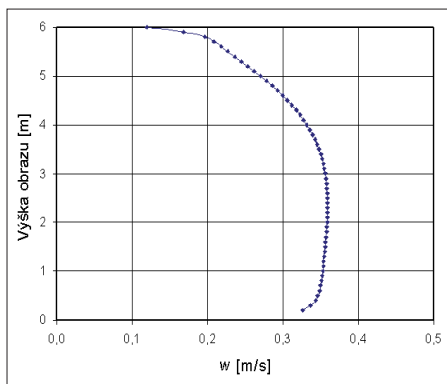
Na obr. 5 je znázorněno teplotní pole v okolí obrazu pro zimní stav. Výsledné hodnoty teplotního a rychlostního pole jsou znázorněny na grafech 1, 2, 3 a 4. Body, ve kterých se údaje zjišťovaly jsou ve vzdálenosti 10 mm od plátna.

Jak je z okrajových podmínek a grafů patrné, je v každém provozním stavu (letním i zimním) překročena požadovaná teplota obrazu v dolní části o cca 0,3 K.

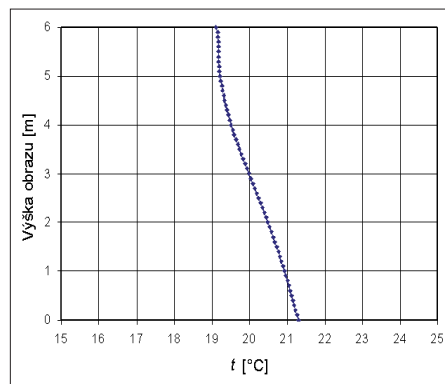
Rychlost proudění od horní hrany obrazu směrem dolů vzrůstá, až přibližně do poloviny výšky obrazu, což je výsledek formování přirozeného vertikálního



Graf 1 – Průběh teplot podél obrazu ve vzdálenosti 10 mm od plátna; zimní stav



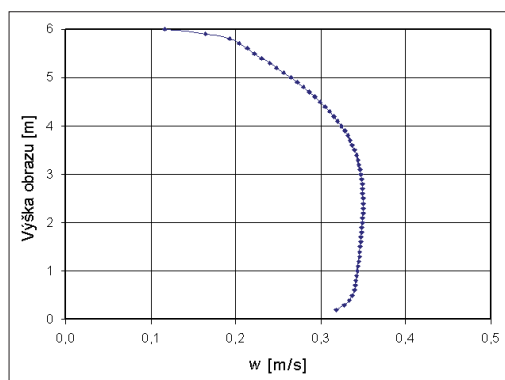
Graf 2 – Průběh rychlostí podél obrazu ve vzdálenosti 10 mm od plátna; zimní stav



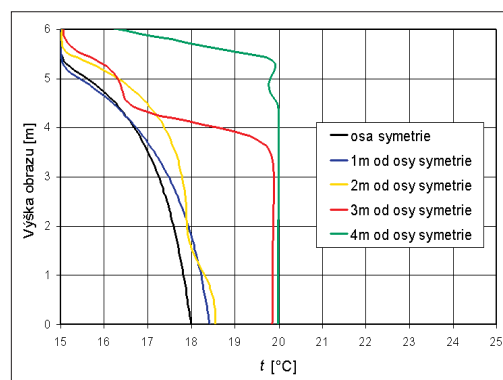
Graf 3 – Průběh teplot podél obrazu ve vzdálenosti 10 mm od plátna; letní stav

proudění chladného vzduchu podél obrazu. Od poloviny výšky obrazu rychlost mírně klesá a jak prokázaly ostatní analýzy, nelze tyto hodnoty (pokud mají být dodrženy požadované teploty na obraze a v okolí obrazu) ovlivnit.

Rovinný model nemá žádnou vypočítací hodnotu o teplotách a rychlostech proudění vzduchu v okrajových částech instalačního panelu. Proto se přistoupilo k řešení 3D modelu.



Graf 4 – Průběh rychlostí podél obrazu ve vzdálenosti 10 mm od plátna; letní stav



Graf 5 – Průběh rychlostí podél obrazu ve vzdálenosti 10 mm od plátna; zimní stav ( $t_p = 15\text{ °C}$ ,  $t_e = 20\text{ °C}$ )

### 3D model

Pro celou sestavu instalačního panelu a obou obrazů lze uvažovat vzhledem k uspořádání v prostoru dvě roviny souměrnosti. Jedna prochází centrální svislou osou obrazu a je k obrazu kolmá. Druhá rovina souměrnosti je s obrazem rovnoběžná. Instalační panel s obrazem je tak rozdělen na identické čtvrtiny. Při numerickém modelování mikroklimatických podmínek v oblasti obrazu jsou tyto dvě roviny souměrnosti využity pro redukci modelovaného prostoru, aniž by se jakkoli snižovala reálnost takto vytvořeného modelu (obr. 6).

Model je zasíťován hexagonální sítí, počet buněk je přes 1 200 000.

Výsledné hodnoty jsou prezentovány pouze pro zimní stav.

Na následujících obrázcích jsou znázorněny kontrolní řezy modelem, podélné i vodorovné.

Na Grafu 5 jsou znázorněna teplotní pole (1 cm od plátna). Jednotlivé křivky znázorňují průběhy teplot v ose symetrie a dále ve vzdálenosti 1, 2, 3 a 4 m od osy symetrie.

### ZÁVĚR

Proudění přiváděného vzduchu svisle dolů podél obrazu vzniká gravitačním účinkem chladného proudu a není prakticky ovlivněno rychlostí vzduchu ve výstupním otvoru nad obrazem, ale množstvím přiváděného chladného vzduchu a rozdílu teplot vzduchu v proudu podél obrazu v okolním prostoru. Při řešení 2D modelu se teplota ve spodní části obrazu pohybuje 0,3 K nad povoleným limitem. Při řešení 3D modelu byla krajní teplota v ose symetrie překročena o 1 K, což je proti 2D modelu výrazný rozdíl. Vyšší teplota u 3D modelu je dána přísáváním vzduchu z okolí, což ve 2D modelu nemůže být zahrnuto.

Řešením 3D modelu se ukázal nepříznivý průběh teplotního pole na bočních stranách obrazu. Proud chladného vzduchu se zužuje a nepokrývá plně plochu, kterou je třeba udržet při maximální teplotě 17 °C.

Spojení na autory: bartak@fsid.cvut.cz; drkal@fsid.cvut.cz; lain@fsid.cvut.cz; schwarze@fsid.cvut.cz.

Příspěvek byl přednesen na konferenci Klimatizace a větrání 2004. ■