

**Vysoké učení technické v Brně  
Fakulta stavební**

Studentská vědecká a odborná činnost  
Akademický rok 2011/2012

# **Teoreticko-experimentální analýza vnitřního klimatu přednáškových a reprezentačních prostor**

Jméno a příjmení studenta, ročník, obor:

Vedoucí práce:

Ústav:

Petra Vojkůvková, 4. ročník, S

Ing. Ondřej Šikula, Ph.D.

Technických zařízení budov

## Obsah

Abstrakt .....	3
Abstract .....	3
1 Úvod .....	4
2 Charakteristika objektu .....	4
2.1 Charakteristika řešených částí .....	5
2.1.1 Aula.....	5
2.1.2 Učebna fyziky.....	6
2.1.3 Laboratoř fyziky.....	6
3 Měření .....	7
3.1 Měření I – dlouhodobé .....	7
3.1.1 Průběh měření a výsledky.....	8
3.2 Měření II - krátkodobé.....	9
3.2.1 Průběh měření a výsledky.....	10
3.1 Vyhodnocení.....	10
4 Studie distribuce vzduchu.....	11
4.1 Směšovací proudění s kompaktním proudem velkého dosahu.....	11
4.2 Směšovací proudění s plochým proudem - přívod a odvod po straně .....	11
4.3 Směšovací proudění s plochým proudem - přívod po obou stranách .....	12
4.4 Textilní potrubí s mikroperforací.....	12
5 Simulace proudění vzduchu .....	13
5.1 Varianta A .....	14
5.2 Varianta B .....	16
5.3 Varianta C .....	18
5.4 Vyhodnocení.....	20
6 Závěr .....	20
Literatura .....	21

## **Abstrakt**

Náplní práce je zhodnocení současného stavu mikroklimatických podmínek problematických prostor Gymnázia L. Jaroše v Holešově, návrh optimálního řešení a ověření správnosti návrhu ve 2D simulaci proudění vzduchu. Cílem je na základě uskutečněných dlouhodobých a krátkodobých měření tepelně-vlhkostních parametrů a koncentrace CO<sub>2</sub> analyzovat problém a doporučit nejvhodnější řešení současného neuspokojivého stavu. Výsledky práce pomohou zkvalitnit mikroklimatické podmínky při výuce a zajistit tepelný komfort při konání slavnostních příležitostí.

## **Abstract**

The scope of the work is to assess the current state of microclimatic conditions of problem areas in the Grammar school L. Jaroše in Holešov, to propose an optimal solution and 2D simulation of airflow. The goal is to analyze the problem on the basis of realized long-term and short-term measurements of heat-humidity parameters and CO<sub>2</sub> concentration and recommend the most acceptable solution to the current unsatisfactory situation. Results of this work will help improve microclimatic conditions in the classroom and ensure thermal comfort during festive occasions.

## 1 Úvod

Problematika spojená s nevyhovujícím vnitřním prostředím a nedostatečným větráním školních tříd a zařízení je všeobecně známá. Ve světě i u nás proběhly výzkumy a měření, které to potvrzují. Na dotazy, jak bylo učitelům a žákům ve třídě po dobu výuky, si povětšinou všichni stěžují na „vydýchaný“ vzduch a na přílišné teplo. Dá se s tím něco dělat? Je možné nějakým způsobem změnit nevyhovující podmínky vedoucí k samotnému z kvalitnění výuky? Samozřejmě, že ano. V současné době to již nestojí na technických možnostech.

Zadání své práce jsem obdržela od ředitelky Gymnázia L. Jaroše v Holešově. Oslovila mě jako bývalou absolventku tohoto gymnázia s žádostí o vyřešení problematiky spojené s přehříváním nejproblematičtějších tříd školy a především prostoru auly, reprezentační místnosti, která se potýká i s nedostatečným odvětráváním.

V rámci své práce se pokusím experimentálním měřením zanalyzovat stávající stav, na základě těchto výsledků simulovat možnosti proudění vzduchu a tak navrhnout optimální způsob větrání v problematických prostorách budovy.

## 2 Charakteristika objektu

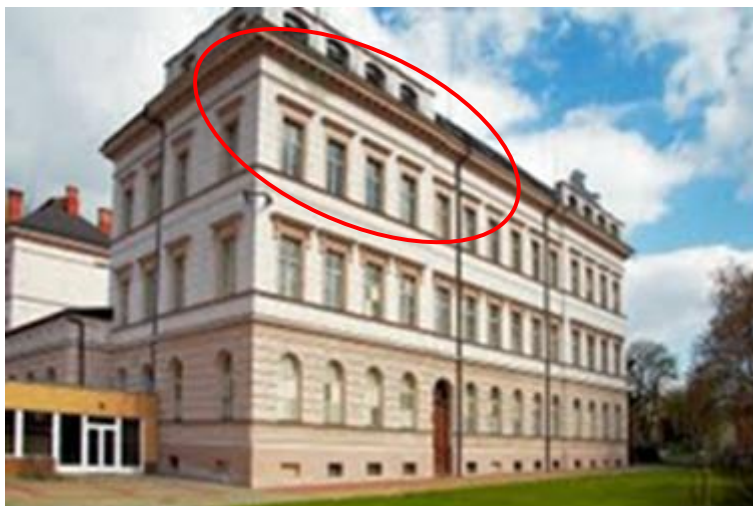
Gymnázium Ladislava Jaroše se nachází ve městě Holešov a bylo založeno v roce 1899. Budova byla postavena v roce 1902 podle plánů architekta Antonína Turka. Jedná se o samostatně stojící budovu, podsklepenou, se 3 nadzemními podlažními a nově zrekonstruovanou půdní vestavbou. Zahrnuje 16 kmenových tříd a 12 odborných učeben, aulu a školní klub. Celý školní areál doplňuje nová přístavba školní jídelny a tělocvičny z roku 1992, školní hřiště, vnější a vnitřní dvůr a školní park. Kapacita školy je stanovena na 480 žáků.



Obr. 1: Letecký pohled

## 2.1 Charakteristika řešených částí

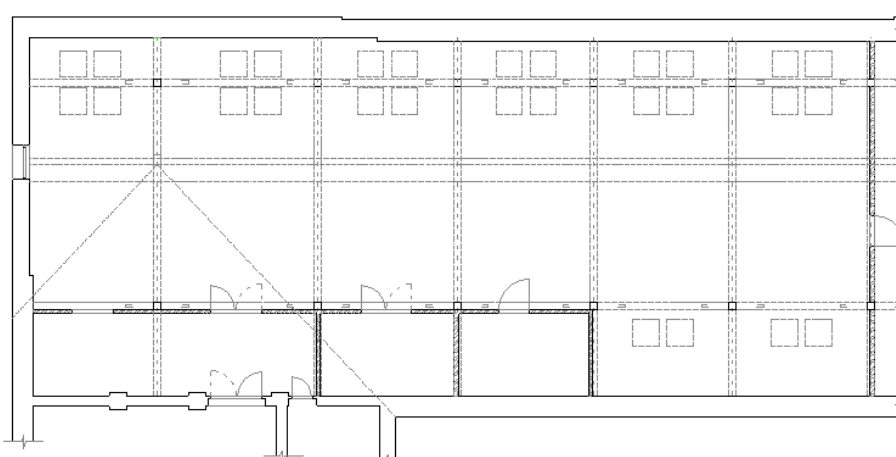
Nejproblematičtějšími prostory budovy jsou třídy v nejvyšších podlažích orientované na jihovýchodní stranu - viz obr. 1 a obr. 2. Jedná se o půdní vestavbu s reprezentační funkcí, tzv. aulu, dále o učebnu fyziky a laboratoř fyziky nacházející se ve 3 NP. Nejvyšší intenzita sluneční radiace je v dopoledních hodinách, kdy probíhá ve třídách výuka.



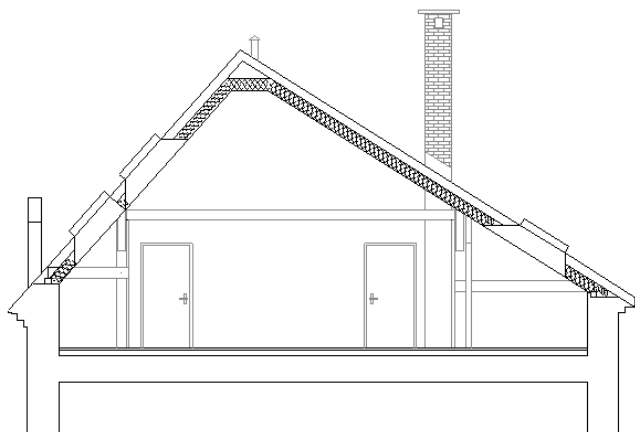
Obr. 2: Řešená část objektu

### 2.1.1 Aula

Reprezentační místnost se nachází v nově zrekonstruovaných podkrovních prostorech původní budovy a slouží ke shromažďovacím účelům převážně slavnostního charakteru. Kapacitně pojme 145 sedících osob, využívána je ovšem jen několikrát do roka. Větrání je zde řešeno pouze v rámci nuceného odvodu vzduchu a to pomocí odstředivých ventilátorů osazených pod stropem místnosti s výfukem do potrubí a nad střechu. Tento systém je ovšem naprosto nevyhovující z hlediska účelu místnosti, postrádá přívod čerstvého vzduchu a v podstatě nevyhovuje ani objemem odváděného vzduchu.



Obr. 3: Půdorys auly



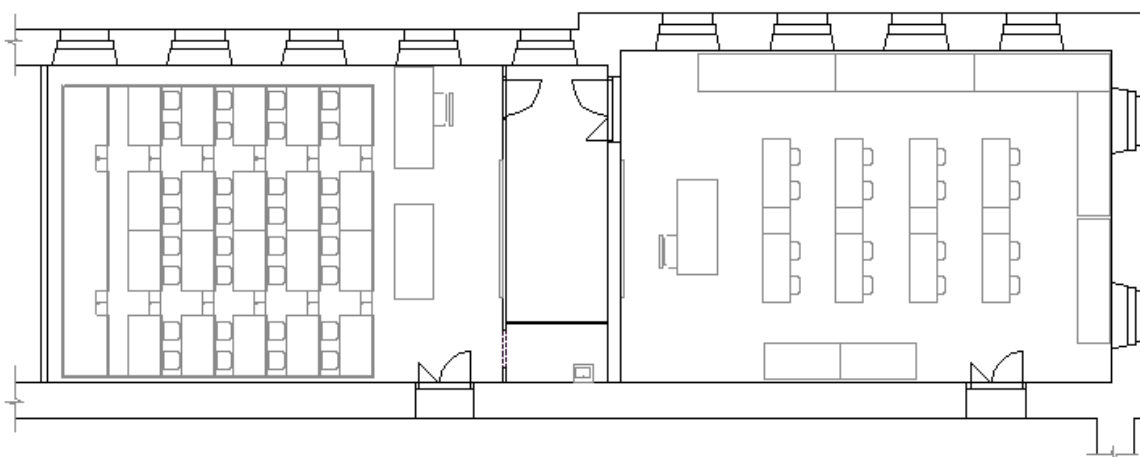
Obr. 4: Řez aulou

### 2.1.2 Učebna fyziky

Nachází se ve 3. nadzemním podlaží pod prostory reprezentační místnosti. Slouží k výuce fyziky pro 40 žáků. Lavice jsou zde řešeny stupňovitě. Jedná se již o původní stav, bez zásahu rekonstrukce, takže větrání je zde řešeno pouze přirozeným způsobem infiltrací a otevřením křidel oken. Za slunného letního počasí se touto cestou vymění minimální objem vzduchu a vzhledem ke svojí orientaci na jihovýchodní stranu dochází pravidelně k jejímu přehřívání. V zimních měsících tento způsob větrání není vhodný vůbec.

### 2.1.3 Laboratoř fyziky

Jedná se o rohovou místnost nacházející se ve 3. nadzemním podlaží, která sousedí s třídou fyziky. Je zde soustředěna převážně výuka laboratorních cvičení. Výuka je zde omezená nízkou kapacitou pro pouhých 20 žáků. Větrání je zde řešeno obdobně jako u sousedící učebny, tzn. infiltrací a otevřením oken. Místnost se tedy rovněž potýká se stejnými problémy.



Obr. 5: Půdorys učebny fyziky (vlevo) a laboratoře fyziky (vpravo)



Obr. 6: Řez učebnou fyziky (vlevo) a laboratoří fyziky (vpravo)

### 3 Měření

Pro zhodnocení stávajícího stavu mikroklimatu jsem v zadaných místnostech provedla několik měření. Ty jsem uskutečnila na podzim loňského roku a následně na jaře roku letošního. Zaměřila jsem se na měření základních psychrometrických veličin - teploty vzduchu, relativní vlhkosti, teploty rosného bodu a dále na měření koncentrace oxidu uhličitého. Pomocí přístroje COMET Logger - viz obr. 7 - jsem dlouhodobě snímala průběh teplot a vlhkostí vzduchu v místnostech. Multifunkčním přístrojem s integrovaným měřením diferenčního tlaku pro klimatizaci a větrání TESTO 435 – 4 jsem zaznamenávala koncentraci oxidu uhličitého - viz obrázek 8.



Obr. 7: COMET Logger S3120



Obr. 8: TESTO 435-4

Z důvodu rozsáhlosti měření a z nich vyplývajících výsledků a opatření, se v této práci omezím pouze na analýzu mikroklimatu v aule.

#### 3.1 Měření I – dlouhodobé

První etapa měření byla zaměřená na dlouhodobé sledování výkyvů vnitřní teploty vzduchu a relativní vlhkosti.

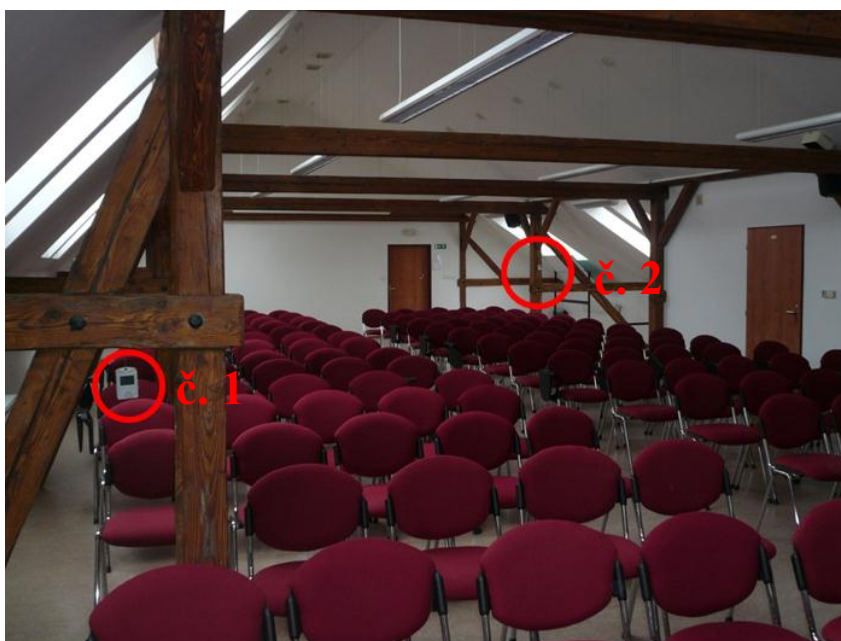
Základní parametry vnitřního mikroklima zasedací místnosti staveb pro shromažďování většího počtu osob upravuje vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb. Ve vyhlášce se stanoví množství vyměňovaného vzduchu ve větraném prostoru s ohledem na množství osob a vykonávanou činnost tak, aby byly dodrženy mikroklimatické podmínky a hygienické

limity chemických látek a prachu. Dále upravuje parametry mikroklimatických podmínek dle tabulky 1.

Tab. 1: Parametry vnitřního mikroklima pobytových místností dle vyhlášky 6/2003 Sb.

<b>Teplé období roku</b>	
Výsledná teplota $t_g$	24,5 ± 1,5 °C
Rychlost proudění vzduchu	0,16 až 0,25 m/s
Relativní vlhkost vzduchu	nejvýše 65 %
<b>Chladné období roku</b>	
Výsledná teplota $t_g$	22,0 ± 2,0 °C
Rychlost proudění vzduchu	0,13 až 0,20 m/s
Relativní vlhkost vzduchu	nejméně 30 %

V aule a v učebně fyziky jsem umístila přístroje COMET Logger. Do každé z místností 2 přístroje, vždy do protilehlých rohů místnosti, tak aby po dobu jednoho měsíce – od 15. 9. do 14. 10. 2011 - snímaly teplotu vzduchu, relativní vlhkost a teplotu rosného bodu.

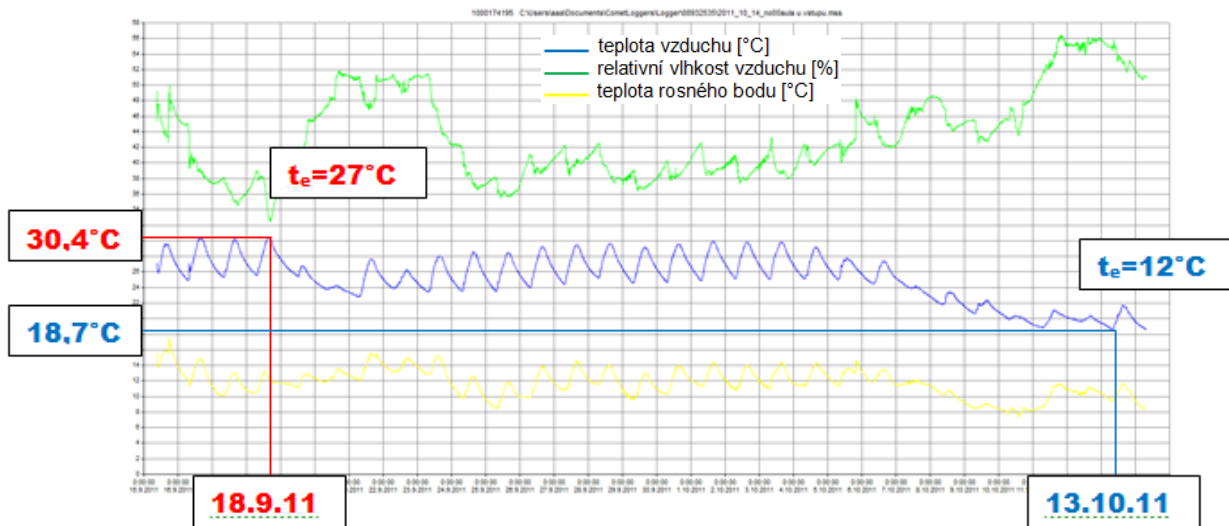


Obr. 9: Umístění přístrojů COMET Logger v aule

### 3.1.1 Průběh měření a výsledky

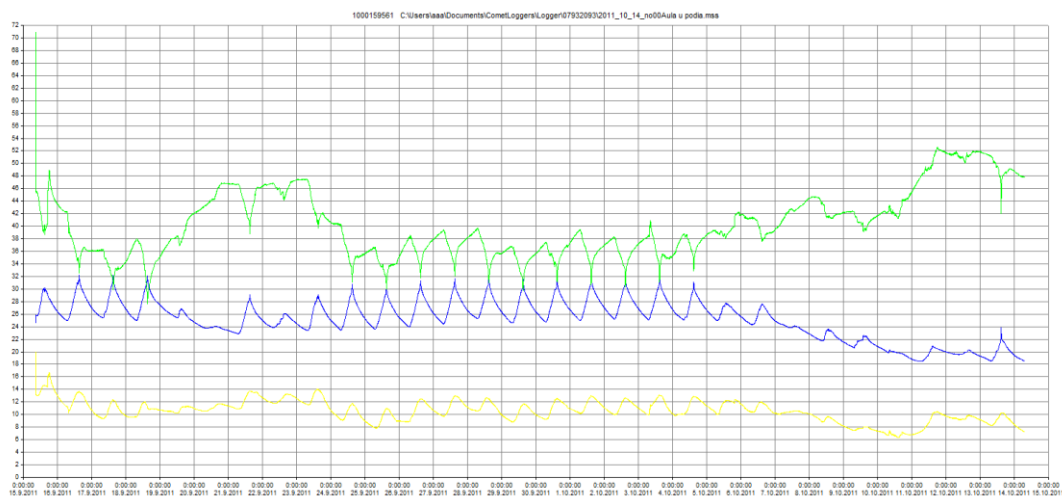
Po dobu měření se v aule nekonala žádná akce a ani se v ní neměl nikdo dlouhodobě zdržovat, všechna okna včetně dveří byla zavřená a nevětralo se. V den naměřeného venkovního maxima 27 °C - uvedeno meteorologickou stanicí v Holešově - byla v aule přístrojem č. 2 naměřena nejvyšší teplota, 30,4 °C. Při venkovních denních teplotách pohybujících se přes 20 °C se teplota vzduchu v interiéru stále blížila k 30 °C. Relativní vlhkost vzduchu se za těchto podmínek držela v průměru na 40 %, při chladnějším počasí ( $t_e = 12$  °C) a poklesu vnitřní teploty k 20 °C vzrostla na 50 %.





Graf 1: Průběh teploty vzduchu, vlhkosti a teploty rosného bodu za sledované období – čidlo č. 2

Přístroj č. 1 byl nevhodně umístěn, jak vyplynulo z grafu, docházelo k jeho pravidelnému oslunění čidla – ostré vrcholy teplotní křivky v denních kulminacích – viz graf 2.



Graf 2: Průběh teploty vzduchu, vlhkosti a teploty rosného bodu za sledované období – čidlo č. 1

### 3.2 Měření II - krátkodobé

Při svém druhém měření jsem se zaměřila na kvalitu vzduchu v místnosti, která se stanovuje z koncentrace oxidu uhličitého. Hlavním zdrojem CO<sub>2</sub> v interiéru školních zařízení jsou lidé, pro sedící osoby se uvádí produkce 15-20 l/(h·osoba).

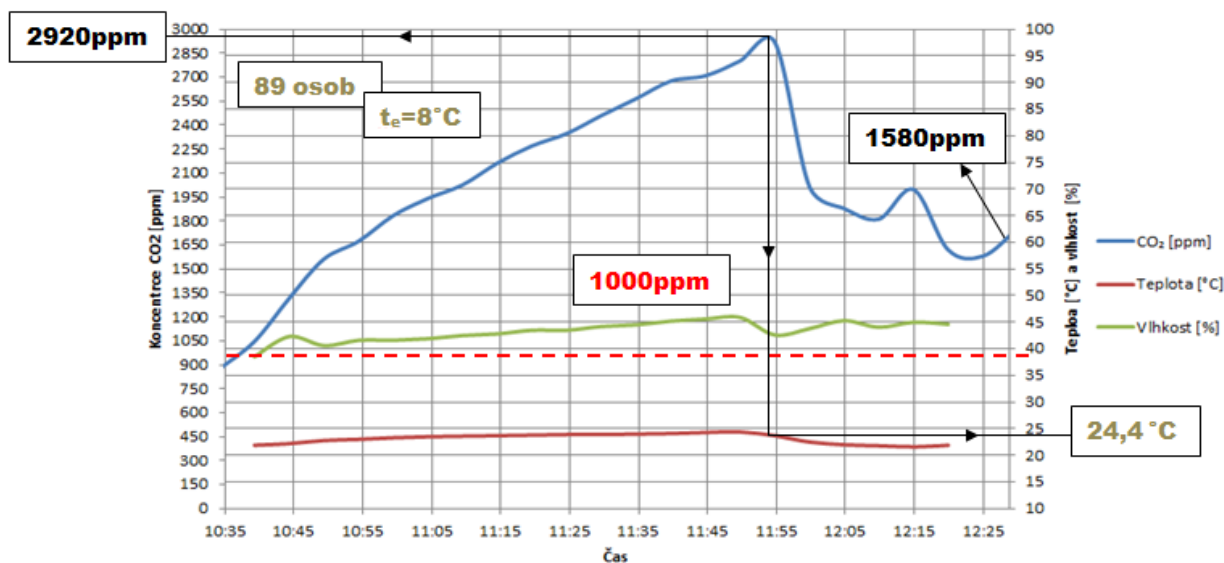
Vyhláška 268/2009 Sb., o *technických požadavcích na stavby*, stanovuje povinnost dodržení maximální přípustné koncentrace oxidu uhličitého 1000 ppm.

### 3.2.1 Průběh měření a výsledky

Koncentrace oxidu uhličitého byla v aule měřena 2. 3. 2012. V místnosti jsou osazená nová plastová okna, která byla uzavřená včetně dveří, ventilátory nebyly spuštěny. Místnost nebyla plně kapacitně zaplněna. Nacházelo se v ní 89 osob ze 155.

První hodnota koncentrace oxidu uhličitého, 876 ppm, po dobu celého měření soustavně narůstala - viz graf 3, vyšplhala se až na koncentraci 2920 ppm (dvojnásobné navýšení povolené koncentrace CO<sub>2</sub>!). Po odchodu studentů a provětrání místnosti otevřenými dveřmi došlo k výraznému poklesu tohoto plynu, ale ani po půl hodině se nedokázalo vyvětrat místnost pod hodnotu 1500 ppm.

Za povšimnutí stojí i teplota interiéru, bez přitápění otopnými tělesy bylo naměřeno 24,4 °C.



Graf 3: Nárůst koncentrace CO<sub>2</sub>

### 3.1 Vyhodnocení

Uskutečněná měření dokázala, že problémy s přehříváním auly jsou skutečné. Max. povolená teplota vzduchu 26 °C, uváděná v platné vyhlášce č. 6/2003 Sb., byla v době měření překročena o rovné 3,4 °C. Dané měření probíhalo v přechodovém období podzimu, a proto se dá v letních měsících očekávat ještě vyšší teploty.

Při hrubém zatřídění kritických prostor do kategorií dle ČSN EN ISO 7730 tab. A 5 vyplývá, že by prostory spadaly do nejnižší kategorie C komfortu prostředí.

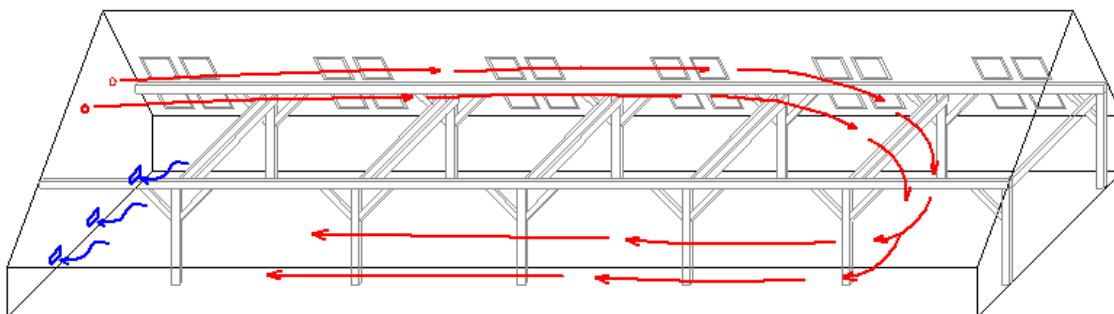
Měření koncentrace oxidu uhličitého prokázalo, že ani kvalita vzduchu není v této místnosti optimální, dochází k pravidelnému překračování koncentrace CO<sub>2</sub> nad povolenou limitní hodnotu 1000 ppm.

Z výsledků měření vyplývá nutnost návrhu opatření pro zkvalitnění mikroklimatických podmínek vedoucích ke zvýšení komfortu při dlouhodobém pobytu v místnosti. Tímto opatřením se rozumí návrh klimatizace, která zabezpečí dostatečnou výměnu vzduchu v místnostech, zajistí požadovanou teplotu vzduchu a její vlhkost.

## 4 Studie distribuce vzduchu

Pro prostor auly je volena klimatizace, která zajistí výměnu vzduchu a pokryje tepelnou zátěž místnosti a zajistí optimální vlhkost vzduchu. Možnosti distribuce vzduchu jsou následující:

### 4.1 Směšovací proudění s kompaktním proudem velkého dosahu



Obr. 10: Směšování dýzou

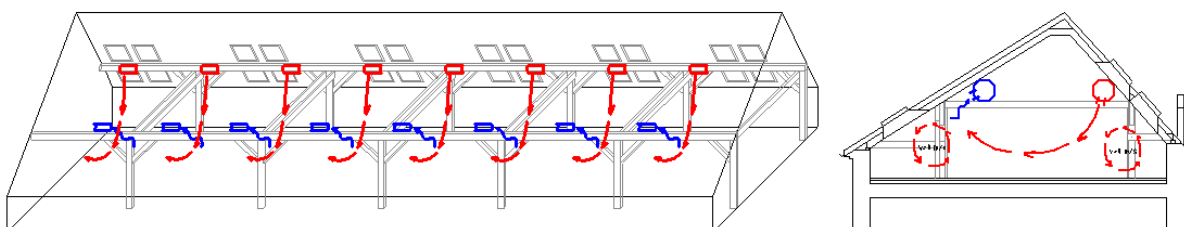
#### Výhody:

- velký dosah přívodního proudu,
- rovnoměrná teplota ve svislém směru,
- provětrání celé místnosti,
- malý počet vyústek;

#### Nevýhody:

- přívodní vzduch tlačí škodliviny přes pobytovou zónu,
- vysoká rychlost proudu v pobytové zóně ( $> 0,15$  m/s),
- hlučnost;

### 4.2 Směšovací proudění s plochým proudem - přívod a odvod po straně



Obr. 11: Přívod a odvod po stranách místnosti

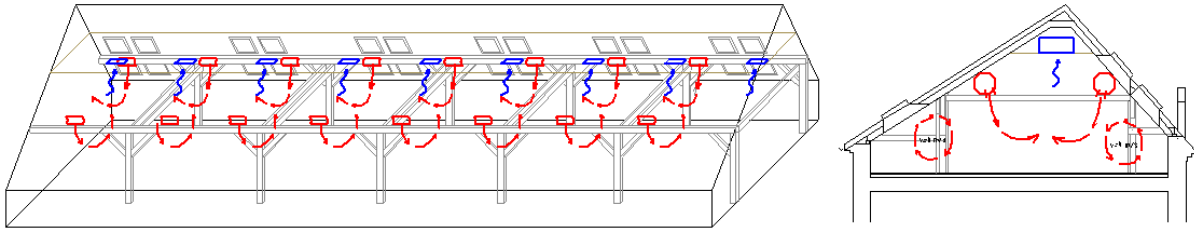
#### Výhody:

- malý počet vyústek;

#### Nevýhody:

- průvan,
- neprovětraná místa,
- velký průřez potrubí
- vysoká rychlost proudu v pobytové zóně ( $> 0,15$  m/s);

#### 4.3 Směšovací proudění s plochým proudem - přívod po obou stranách



Obr. 12: Přívod po obou stranách místnosti, odvod v hřebeni

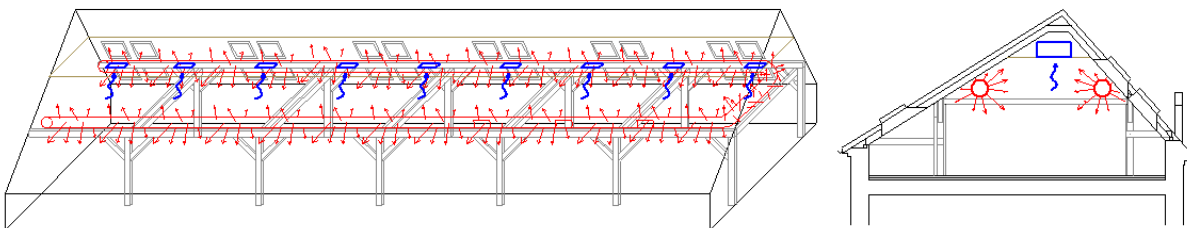
##### Výhody:

- rovnoměrné proudění vzduchu,
- odvod vzduchu v nejvyšším místě;

##### Nevýhody:

- průvan,
- neprovětraná místa,
- vysoká rychlost proudu v pobytové zóně ( $> 0,15$  m/s),

#### 4.4 Textilní potrubí s mikroperforací



Obr. 13: Textilní potrubí s mikrovlákny

##### Výhody:

- přívodní vzduch je rovnoměrně propouštěn po celé ploše potrubí – dojde k provětrání celé místnosti,
- rovnoměrné proudění vzduchu,
- odvod vzduchu v nejvyšším místě;
- rychlost proudění vzduchu  $\leq 0,15$  m/s,
- nízká hlučnost,
- čistota (možnost praní);

### Nevýhody:

- chvění textilie

Distribuce vzduchu textilními vyústkami je nevhodnější variantou.

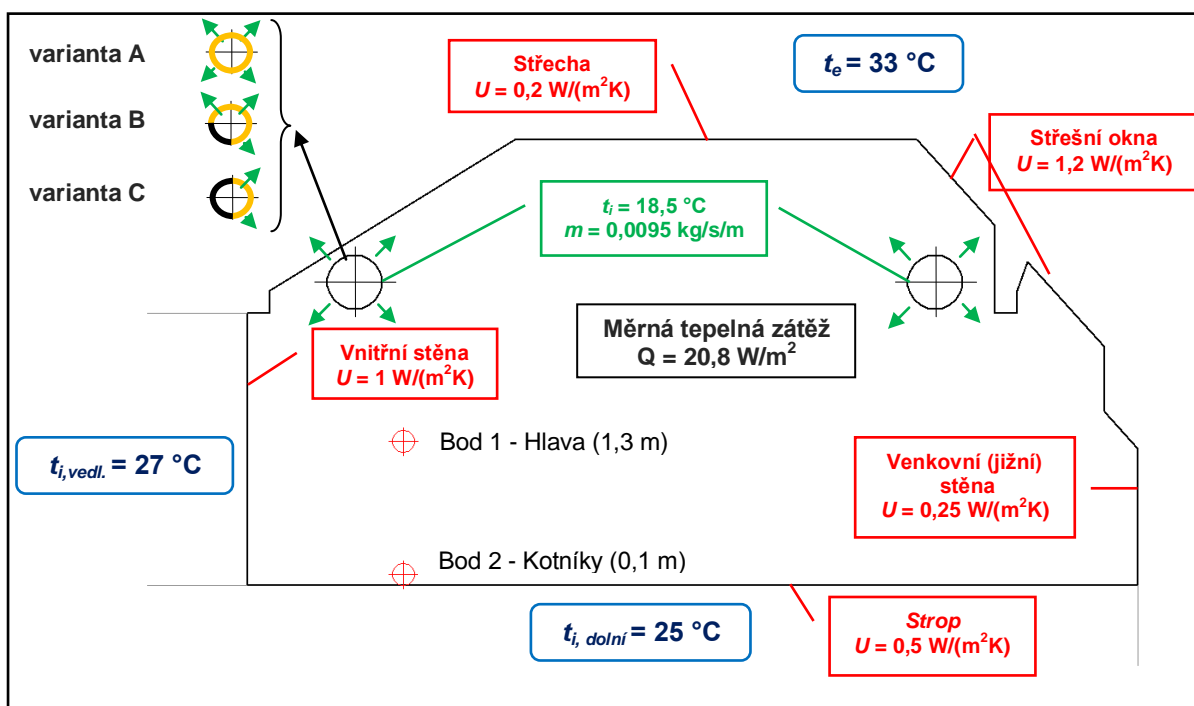
## 5 Simulace proudění vzduchu

Nejvhodnější návrh distribuce vzduchu do místnosti, textilními vyústkami, jsem podrobila numerické analýze teplotních a proudových polí za účelem ověření tepelné pohody a komfortu, které by měly v klimatizované místnosti vytvářet – blíže viz [7].

Pro matematicko-fyzikální simulaci jsem použila výpočetní program ANSYS FLUENT a preprocesing jsem provedla v softwaru GAMBIT – blíže viz [8]. V softwaru Fluent jsem po vytvoření geometrie místnosti příčným řezem a zadání okrajových podmínek simulovala časově ustálené proudění vzduchu a přenos tepla. Vnitřní tepelnou zátěž místnosti jsem zadala na  $m^2$  řezu místnosti. V místě pobytu osob jsem zvolila 2 charakteristické kontrolní body, ve výšce kotníků - 0,1 m od podlahy - a v oblasti hlavy sedící osoby - 1,3 m od podlahy, v kterých jsem počítala hodnoty sledovaných veličin. Vytvořila jsem celkem 3 varianty, pro které bylo odlišným způsobem modelováno směřování proudu vzduchu z vyústky. Výstupem jsou obrazy proudění vzduchu v teplotním poli - teplota vzduchu a radiační teplota, v rychlostním poli a trajektorie proudícího vzduchu.

Tab. 2: Varianty směřování proudu z vyústky

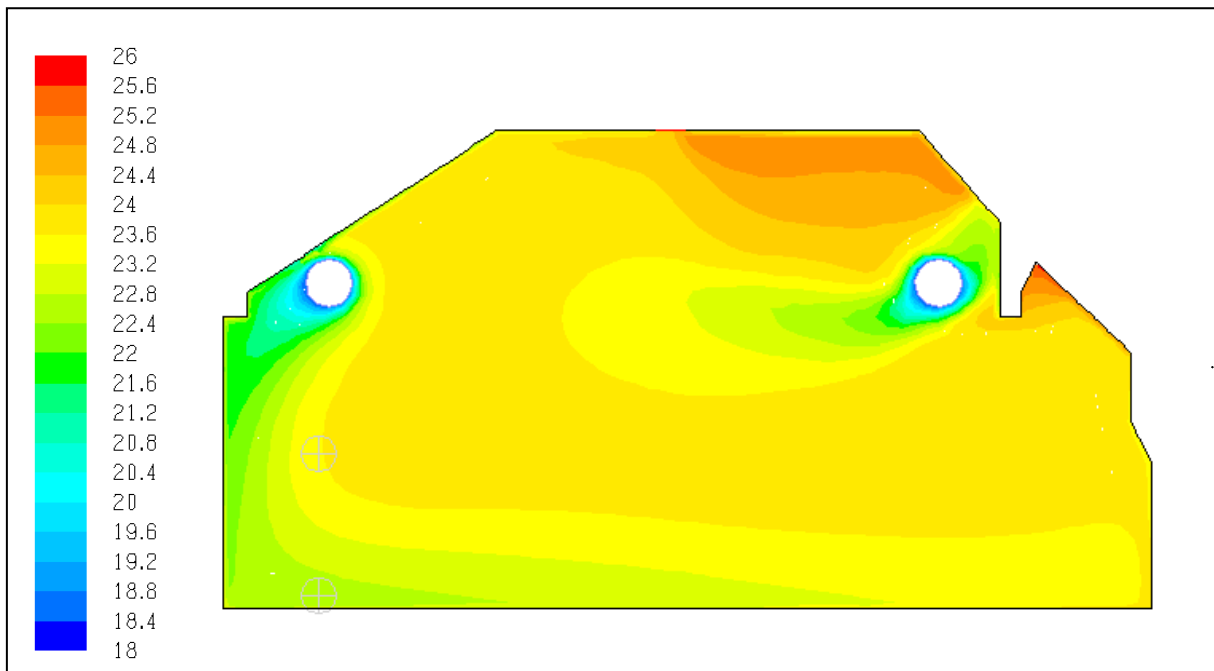
Varianta A	Rovnoměrná mikroperforace
Varianta B	Směřovaná mikroperforace - $\frac{3}{4}$ obvodu vyústky
Varianta C	Směřovaná mikroperforace - $\frac{1}{2}$ obvodu vyústky



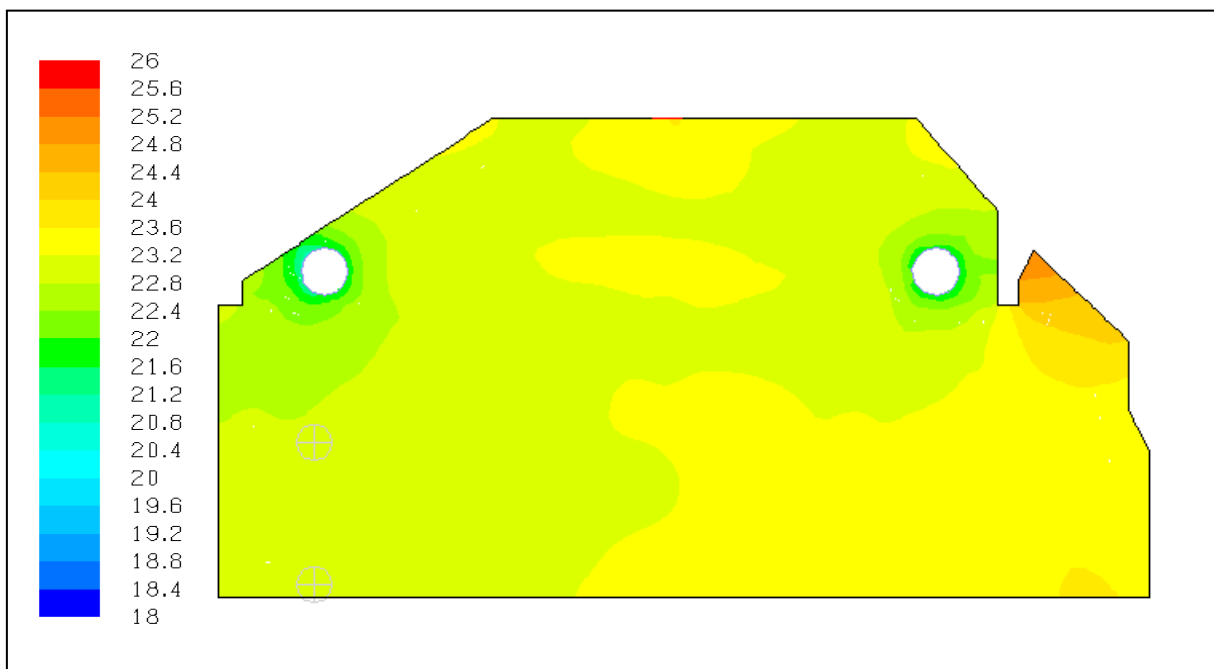
Obr. 14: Okrajové podmínky

## 5.1 Varianta A

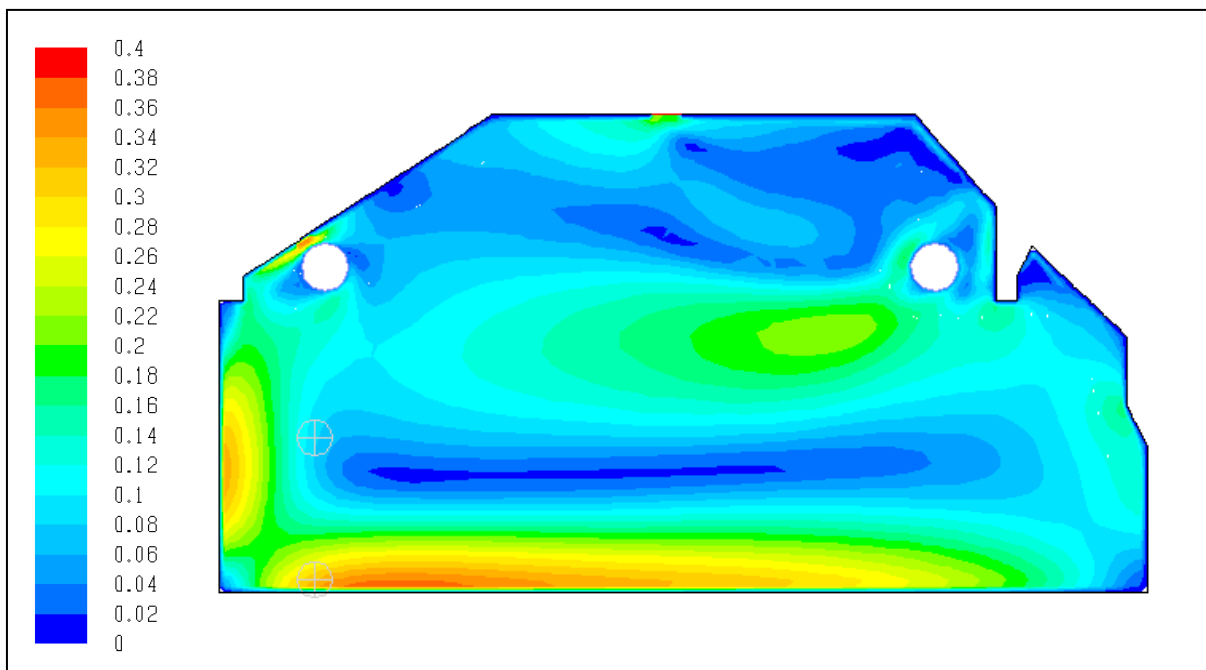
Ve variantě A je posouzena textilní vyústka s rovnoměrnou mikroperforací, která umožňuje rovnoměrné rozptýlení vzduchu po celém svém obvodu.



Obr. 15: Teplota vzduchu [°C] – varianta A



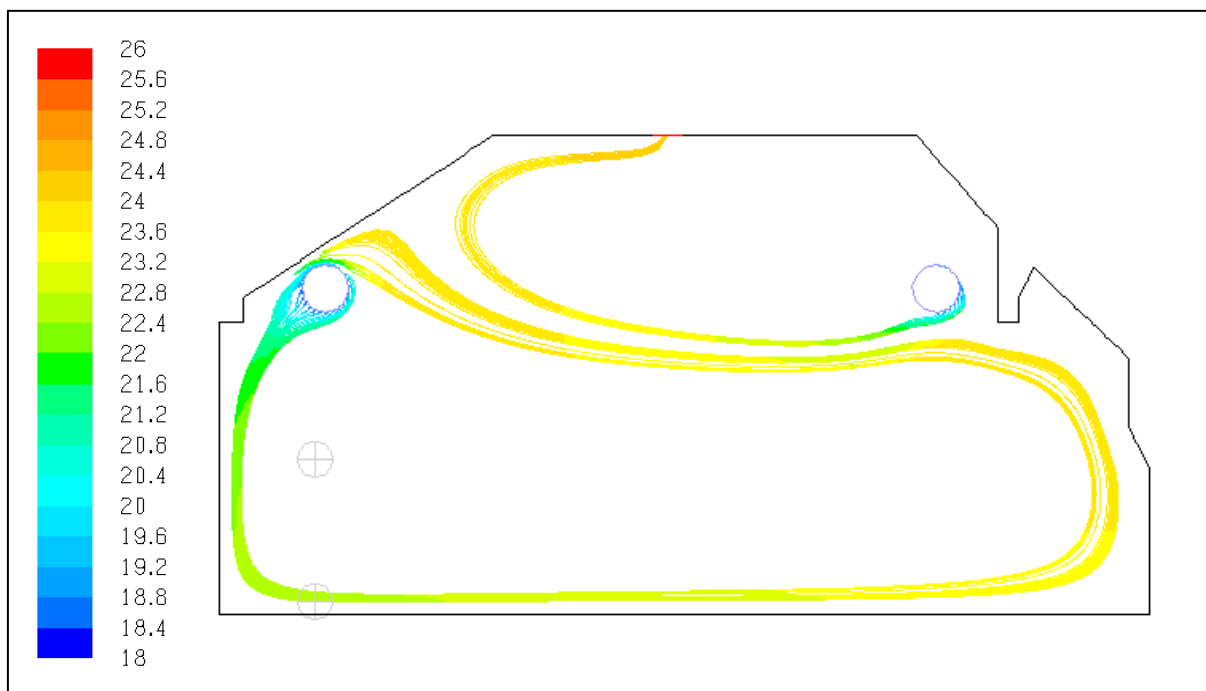
Obr. 16: Střední radiální teplota [°C] – varianta A



Obr. 17: Rychlost proudění vzduchu [m/s] – varianta A

Tab. 3: Varianta A

Varianta A	Bod 1 - Hlava	Bod 2 - Kotníky
Teplota vzduchu $t_a$ [°C]	23,5	22,6
Radiační teplota $t_t$ [°C]	22,9	23,1
Rychlost proudění $v$ [m/s]	0,09	0,32
Operativní teplota $t_o$ [°C]	23,1	22,9

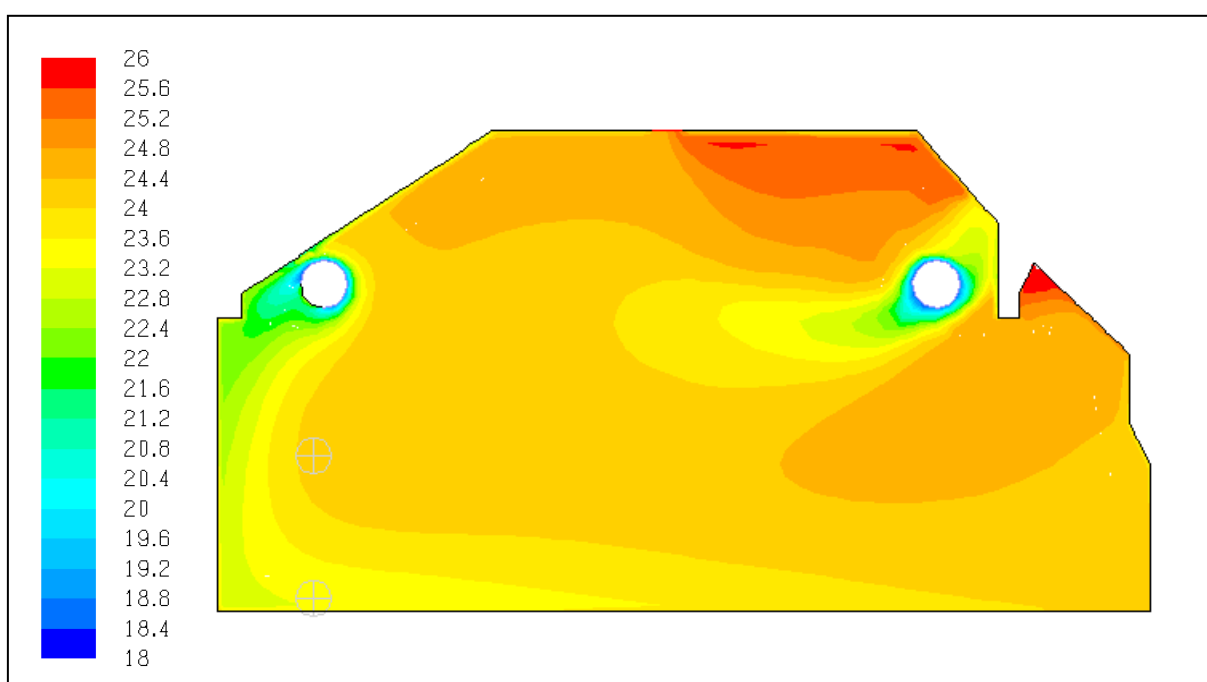


Obr. 18: Teplotně zbarvené [°C] trajektorie vzduchu – varianta A

Na obr. 18 je patrný významný vliv levé vyústky na charakter proudění vzduchu v místnosti. Z varianty A vyplynulo, že rychlost proudění vzduchu v oblasti kotníků nevyhovuje požadavkům vyhlášky č. 6/2003 Sb., v které se stanoví max. povolená rychlost proudění v pobytové oblasti v rozmezí 0,6 až 0,25 m/s. Dosažené operativní teploty jsou příznivé.

## 5.2 Varianta B

Aby se eliminoval výše uvedený nedostatek, byla vytvořena varianta B s cílem usměrnit proud vzduchu z levé textilní vyústky tak, aby se snížily rychlosti v kontrolovaných bodech. Usměrnění provedu omezením propustnosti tkaniny vyústky v  $\frac{1}{4}$  jejího průřezu – viz obr. 13.

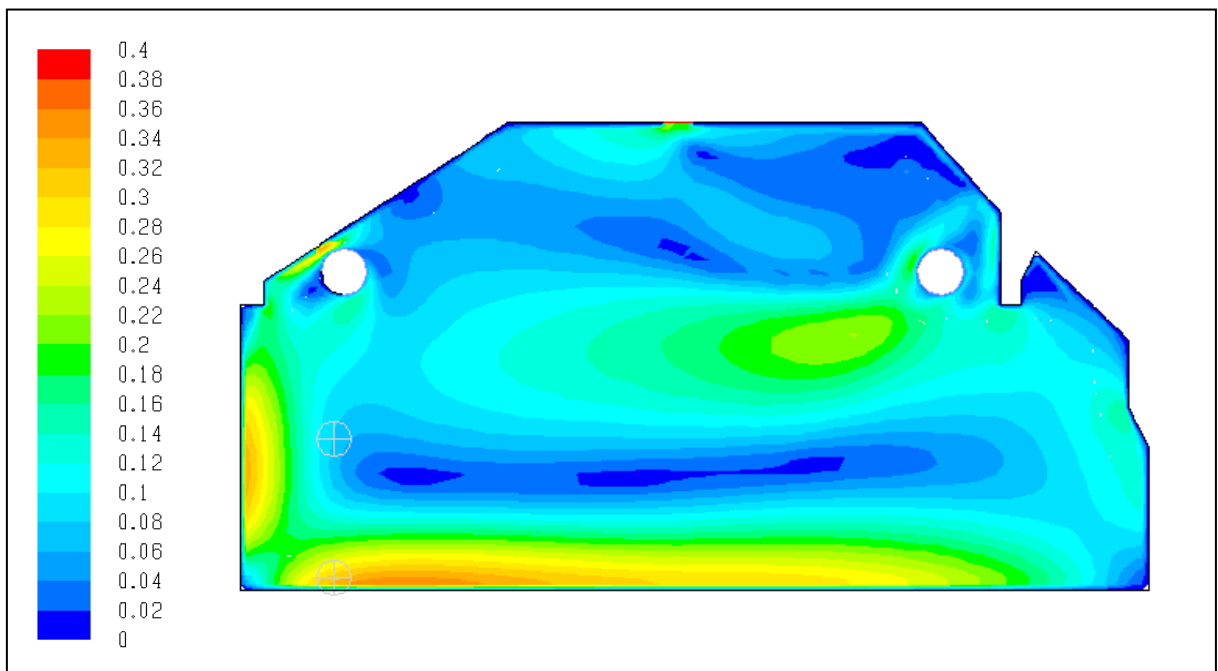


Obr. 19: Teplota vzduchu [°C] – varianta B





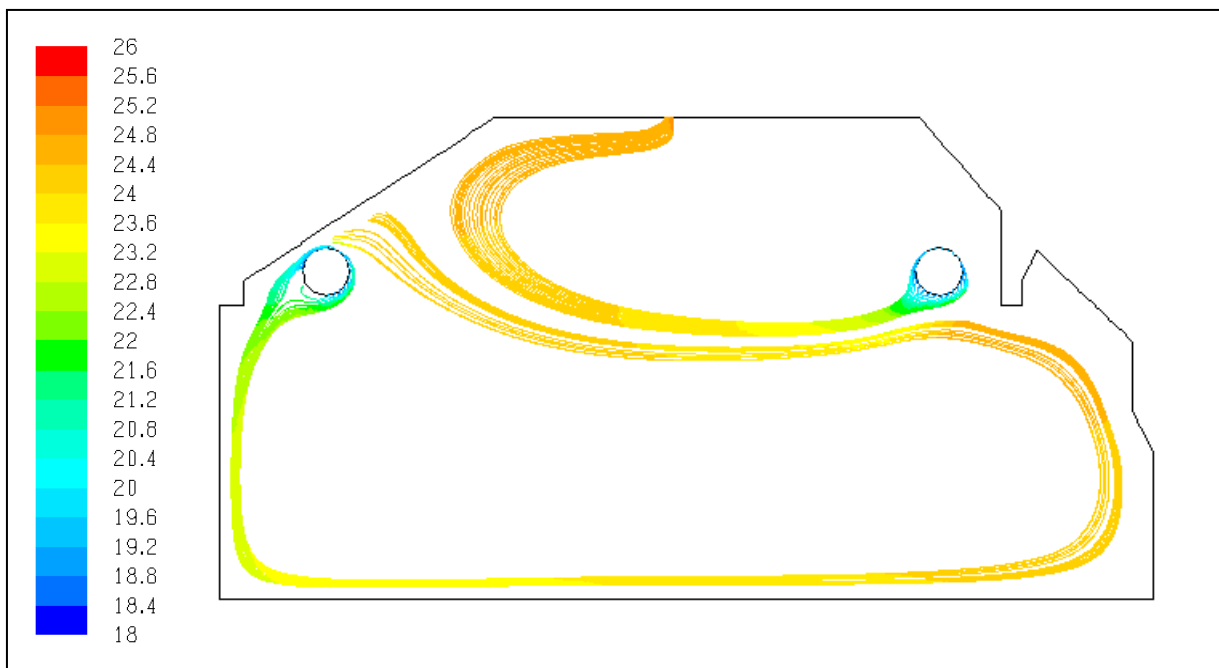
Obr. 20: Střední radiální teplota [°C] – varianta B



Obr. 21: Rychlost proudění vzduch [m/s] – varianta B

Tab. 4: Varianta B

Varianta B	Hlava	Kotníky
Teplota vzduchu [°C]	24,1	23,3
Radiační teplota [°C]	23,5	23,7
Rychlost proudění [m/s]	0,08	0,31
Operativní teplota $t_o$ [°C]	23,7	23,5

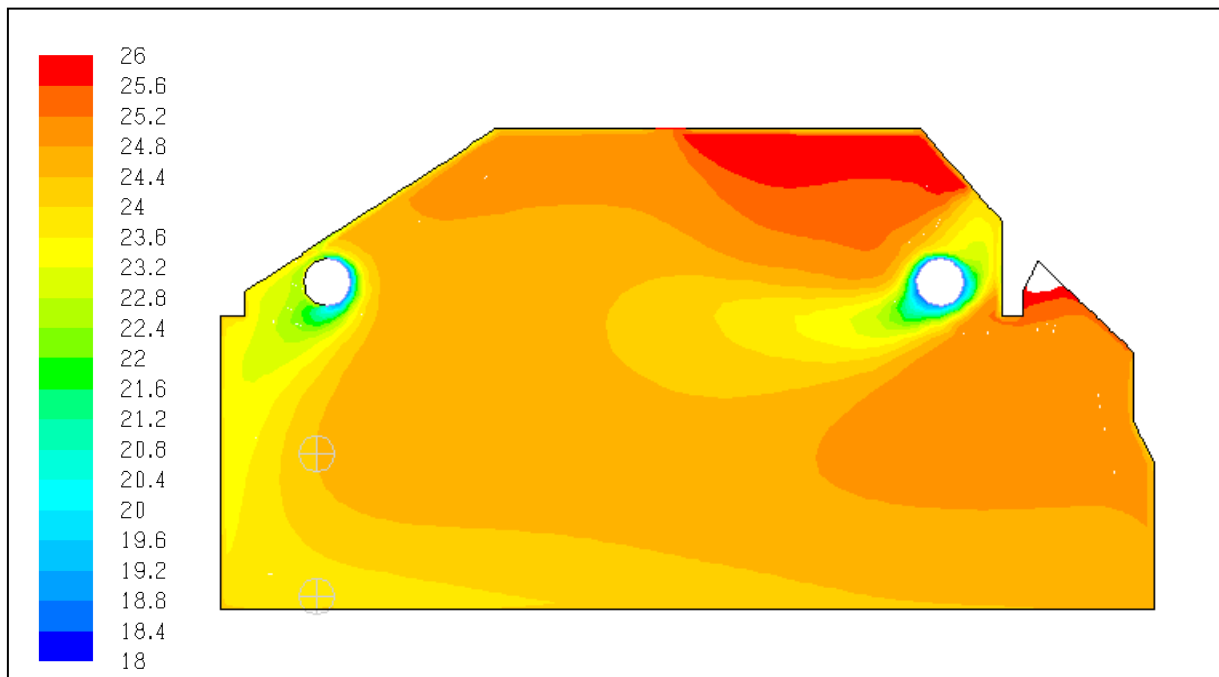


Obr. 22: Teplotně zbarvené [°C] trajektorie vzduchu – varianta B

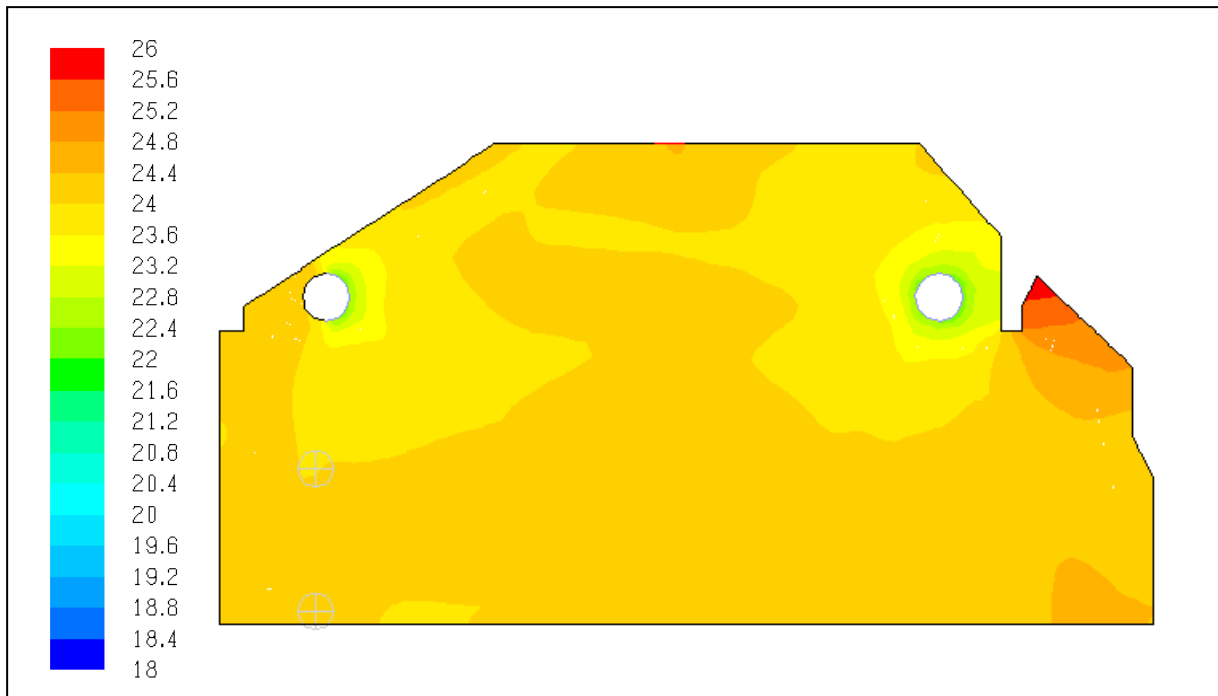
Z varianty B vyplynulo, že usměrnění proudu a zamezení mikroperforace v  $\frac{1}{4}$  průřezu vyústky stále nezamezí vysoké rychlosti proudění vzduchu v oblasti kotníků.

### 5.3 Varianta C

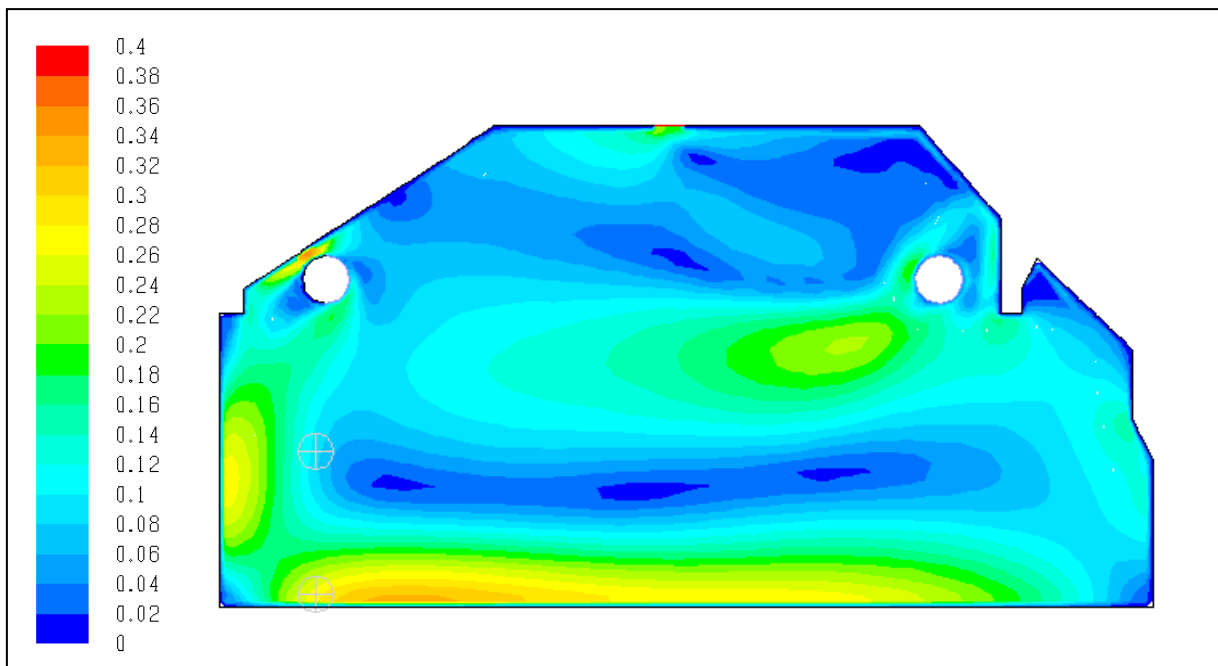
Ve variantě C provedu omezení proudění vzduchu z levé vyústky o další  $\frac{1}{4}$  průřezu, takže vzduch bude z této vyústky proudit pouze  $\frac{1}{2}$  – viz obr. 13.



Obr. 23: Teplota vzduchu [°C] – varianta C



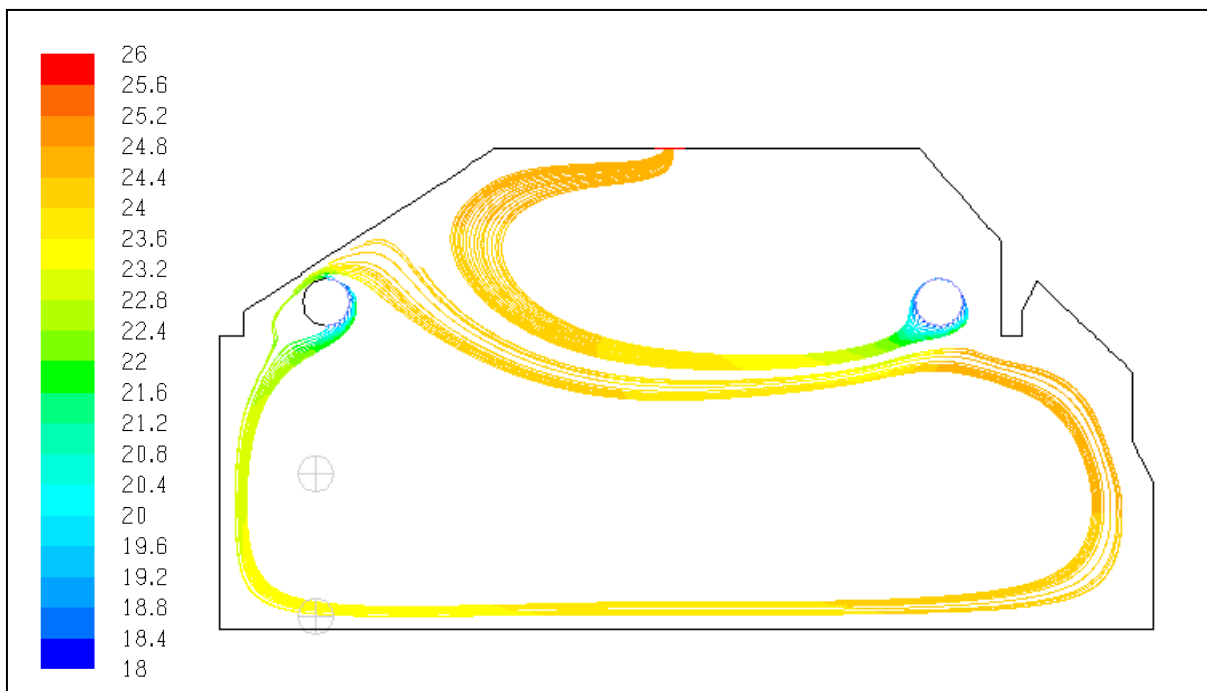
Obr. 24: Střední radiční teplota [°C] – varianta C



Obr. 25: Rychlost proudění [m/s] – varianta C

Tab. 4: Varianta C

Varianta C	Hlava	Kotníky
Teplota vzduchu [°C]	24,4	23,8
Radiční teplota [°C]	24,0	24,1
Rychlost proudění [m/s]	0,09	0,27
Operativní teplota $t_o$ [°C]	24,1	24,0



Obr. 26: Teplotně zbarvené [°C] trajektorie vzduchu – varianta C

## 5.4 Vyhodnocení

Ze všech provedených simulací vyplývá následující:

- Posuzovaným způsobem distribuce vzduchu není zajištěna rovnoměrná teplota v charakteristickém svislém řezu, ale vznikají chladnější místa – v levé části, a místa teplejší – v pravé části u oken. Tato nerovnoměrnost však není významná.
- Problematická se jeví především nadměrná rychlost proudícího vzduchu v oblasti kotníků, která je větší než nejvýše požadovaných 0,25 m/s. Tato vysoká rychlost není paradoxně způsobena rychlostí na přívodních vyústkách (cca 0,2 m/s), ale je způsobena klesáním chladného přívodního vzduchu podél vnitřní stěny.
- Posuzovaný způsob distribuce vzduchu není optimálně účinný z hlediska odvodu škodlivin, jakou je např. CO<sub>2</sub> z pobytové oblasti osob, protože zde dochází k proudění pouze polovinou celkového objemového průtoku přívodního vzduchu.

## 6 Závěr

Má práce se zabývala analýzou stávajícího tepelně vlhkostního a odérového mikroklimatu a směřovala k vytvoření optimálních podmínek a komfortu pro pobyt osob v místnosti sloužící ke slavnostním příležitostem. Navrhla jsem textilní vyústky, co by nejvhodnější variantu distribuce vzduchu, které jsem podrobila numerické 2D simulaci teplotních a proudových polí. Simulací proudění vzduchu v místnosti se ukázalo, že i přes zavedená opatření, kterými bylo usměrnění proudu vzduchu z vyústky, by se nedokázalo zamezit zvýšené rychlosti proudění vzduchu v oblasti kotníků pod hodnotu uvedenou v platné legislativě.

Jako nové řešení navrhuji přivádět do místnosti pouze větrací vzduch, čímž se sníží objem přiváděného vzduchu a zamezí se jeho vysoké rychlosti v oblasti kotníků. Pro odvedení tepelné zátěže navrhuji použít chladící zařízení SPLIT popř. MULTISPLIT v cirkulační funkci.

## Literatura

- [1] Gebauer, G.; Rubinová, O.; Horká, H. *Vzduchotechnika*. 2. vydání. Vydavatelství ERA: Brno 2007. S0158. ISBN 978-80-7366-091-8
- [2] Chylský, J.; Hemzal, K. a kol. *Větrání a klimatizace*. Technický průvodce sv. 31. BOLIT : Brno, 1993. 560 s. ISBN 80-901574-0-8.
- [3] Vyhláška Ministerstva zdravotnictví, Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy, Ministerstvem práce a sociálních věcí č. 343/2009 Sb. ze dne 8. října 2009, o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých.
- [4] Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb. ze dne 16. prosince 2002, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb
- [5] Vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj č. 268/2009 Sb. ze dne 16. srpna 2009, o hygienických požadavcích na stavby
- [6] <http://www.gymhol.cz/charakteristika>. Citováno 20.4 2012.
- [7] Šikula, O. Počítačové simulace a jejich aplikace pro tvorbu prostředí bytových domů. *Stavebnictví*, 2008, roč. 08, č. 11 - 12, s. 56-59. ISSN: 1802- 2030. (dostupné online: [http://www.casopisstavebnictvi.cz/pocitacove-simulace-a-jejich-aplikace-pro-tvorbu-prostredi-bytovych-domu\\_N1767](http://www.casopisstavebnictvi.cz/pocitacove-simulace-a-jejich-aplikace-pro-tvorbu-prostredi-bytovych-domu_N1767)) Citováno 21.4 2012.
- [8] FLUENT: Fluent 6.3.26 - User's guide Fluent Inc. 2007.