

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV ENERGETIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

POŽADAVKY NA VĚTRÁNÍ SPOLEČENSKÝCH MÍSTNOSTÍ COMMUNITY HALLS VENTILATION REQUIREMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN MACHALA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JIŘÍ HEJČÍK

BRNO 2008

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Machala Martin

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Požadavky na větrání společenských místností

v anglickém jazyce:

Community halls ventilation requirements

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Přehled větracích systémů a způsobu větrání velkých společenských prostor. Hygienické předpisy pro větrání společenských prostor.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je sestavení přehledu požadavků na větrání společenských místností jako jsou např. kina či divadla, spolu s přehledem větracích systémů, které jsou schopny tyto požadavky naplnit.

Seznam odborné literatury:

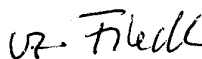
- [1] Székyová M., Ferstl K., Nový R.; Větrání a klimatizace, JAGA GROUP, s.r.o; Bratislava 2006; ISBN 80-8076-037-3
[2] vyhl. 6/2003 Sb.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Hejčík

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 6.2.2008

L.S.



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu





doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Hejčíkovi, vedoucímu bakalářské práce za ochotu, cenné rady a připomínky, které mi byly při zpracovávání bakalářské práce velkou oporou.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci s názvem Požadavky na větrání společenských místností vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Brně dne 23. května 2008

.....

Martin Machala

Anotace

Bakalářská práce se zabývá větracími systémy a požadavky na větrání společenských místností. Autor se nejprve zaměřuje na základní systémy větrání. Ty by měly napomoci vytvořit teoretický náhled na problematiku větrání. Poté jsou podrobně probrány hygienické požadavky na větrání společenských sálů s podrobnějším zaměřením na kina a divadla. Na závěr se autor uvádí vhodné systémy větrání splňující požadavky stanovené hygienickými předpisy.

Klíčová slova: společenské sály, kina, divadla, požadavky na větrání

Bachelor's thesis deals with ventilation systems and requirements for ventilation of cultural rooms. First of all author focuses on basic ventilation systems. This should be useful to create some theoretical view about this theme. In next topic hygienic requirements for cultural rooms with specification on theatres are discussed in details. In final part author presents suitable ventilation systems capable to fit stated hygienic requirements.

Key words: cultural rooms, cinemas, theatres, ventilation requirements

Citace této práce:

MACHALA, M. *Požadavky na větrání společenských místností*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 30 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Hejčík.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Základní principy větrání	2
2.1	Přirozené větrání	2
2.1.1	Princip přirozeného větrání vyvolaného tíhovou silou.....	2
2.1.2	Princip přirozeného větrání vyvolaného větrem	3
2.1.3	Infiltrace	4
2.1.4	Provětrávání	4
2.1.5	Aerace.....	5
2.1.6	Šachtové větrání	6
2.1.7	Požární přirozené větrání	6
2.2	Nucené větrání.....	7
2.2.1	Podtlakové větrání.....	7
2.2.2	Rovnotlaké větrání	7
2.2.3	Přetlakové větrání.....	7
2.3	Kombinované větrání	8
2.4	Místní větrání	8
2.4.1	Vzduchové sprchy	9
2.4.2	Vzduchové oázy	9
2.4.3	Vzduchové clony.....	9
3	Požadavky na větrání společenských sálů.....	10
3.1	Mikroklimatické podmínky.....	10
3.1.1	Teplota vzduchu	12
3.1.2	Střední radiační teplota okolních ploch.....	12
3.1.3	Vlhkost vzduchu.....	13
3.1.4	Rychlost proudění vzduchu	13
3.2	Škodliviny	13
3.2.1	Odérové mikroklima	14
3.2.2	Toxické mikroklima	15
3.2.3	Oxid uhličitý.....	15
3.2.4	Mikrobiální mikroklima	16
3.2.5	Ionizační mikroklima	17
3.2.6	Akustické mikroklima	18
4	Systémy větrání vhodné pro společenské sály (kina, divadla).....	19
4.1	Větrání divadel	20
4.2	Větrání kin.....	22
4.2.1	Akustické mikroklima	22
4.2.2	Větrání a distribuce vzduchu.....	23
4.2.3	Promítací kabina.....	24
4.3	Multikina	25
4.3.1	Auditoria.....	25
4.3.2	Vstupní hala multikina	26
5	Závěr.....	27
6	Použité zdroje	28
7	Použitá označení.....	29

1 Úvod

Odjakživa se lidé snaží přizpůsobit si prostředí ku svému prospěchu. Stavějí obydlí, která představují uměle vytvořenou část životního prostředí, oddělenou od vnějšího prostředí stavebními konstrukcemi. Cílem je ochrana před nepříznivými vnějšími životními podmínkami, především teplotou a vlhkem. Při vytápění a chlazení se vytvářejí příznivé teplotní podmínky pro pobyt, ale je třeba také zajišťovat ideální skladbu vnitřního ovzduší, které je ovlivněno pobytem lidí, činnostmi různých zařízení a dalšími faktory. To se provádí dostatečnou výměnou vzduchu v místnosti přívodem čerstvého vzduchu z venkovního prostředí, tj. větráním.

Problematickou větrání se zabývali již starověcí architekti. Před počátkem letopočtu požadoval římský architekt Vitruvius, aby se vzduch v místnosti „hodinu co hodinu obnovoval a nepůsobil tak lidem škodu.“ [7]

Požadavky se za dvě tisíciletí značně rozrostly a jsou zpracovány v zákonech, normách a doporučeních odborné literatury. Přesto i v současnosti se u nás setkáme s porušováním těchto starověkých zásad. V poslední době můžeme vypožorovat tendenci k energetickým úsporám, za cílem snižování nákladů. Dochází k dokonalé izolaci budov, utěšňováním spár a oken s cílem co nejvíce snížit tepelné ztráty místností. Tím ovšem také klesá přirozená výměna vzduchu v budovách. Není tak zajištěn dostatečný odvod škodlivin a udržování optimální vlhkosti vzduchu přirozenou cestou.

Nedostatečné větrání má dopady nejen na lidské zdraví a pohodu, ale ovlivňuje i životnost staveb a zařízení. Naopak ideální skladba vzduchu v kombinaci s vhodnými tepelnými podmínkami přináší člověku pocit pohody. To se příznivě projevuje na jeho soustředěnosti a pracovní výkonnosti.

Cílem bakalářské práce je dohledat současné zákonné požadavky na větrání společenských místností a dále je specifikovat pro kina a divadla. V oblastech, ve kterých nejsou požadavky na větrání zákonem ošetřeny se pak obrátit na normy, popř. odbornou literaturu. Na závěr budou vybrány větrací systémy splňující požadavky na větrání kin a divadel. Proto je třeba začít přehledem základních větracích systémů.

2 Základní principy větrání

Větrání je výměna vzduchu v uzavřeném prostoru za vzduch venkovní, která nastává pouze v důsledku tlakových rozdílů. Může být trvalé (spojité v čase) nebo přerušované (opakující se v určitých časových intervalech). Výměny vzduchu může být dosaženo působením přírodních sil – *větrání přirozené* anebo pomocí strojního zařízení – *větrání nucené*. Uvedené druhy lze i kombinovat – kombinované větrání. [2, str. 343]

2.1 Přirozené větrání

Přirozené větrání využívá tlakových rozdílů, způsobených různými hustotami vzduchu uvnitř a vně budovy a kinetické energie větru, který obtéká budovu. Dělíme ho tedy podle přírodní síly, která větrání vyvolává na [1, str. 167]

- větrání vyvolané tíhovou silou
- větrání vyvolané větrem

Přirozené větrání se nejvíce uplatňuje v teplých a horkých provozech a v místnostech s malými požadavky na hygienické vlastnosti prostředí. Naopak nevhodné je pro větrání místností s požadavky na neměnné vnitřní prostředí. Jelikož při tomto druhu větrání je využívána energie přírodní (kinetická nebo tíhová), investiční a provozní náklady tohoto systému nejsou vysoké. Ovšem na druhou stranu je takové větrání značně závislé na vnějších klimatických podmínkách, které mohou být v některých oblastech značně proměnlivé. Další nevýhodu představuje nemožnost filtrace vzduchu a úpravy jeho vlastností (teploty, vlhkosti), v důsledku nedostatečných rozdílů tlaků mezi vnitřním a vnějším prostředím. Z toho lze vyvodit další nedostatky přirozeného větrání. [1, str. 167]

Do přirozeného větrání řadíme následující metody používané v pozemních stavbách [1, str. 167]

- infiltrace
- provětrávání
- aerace
- šachtové větrání
- přirozené požární větrání

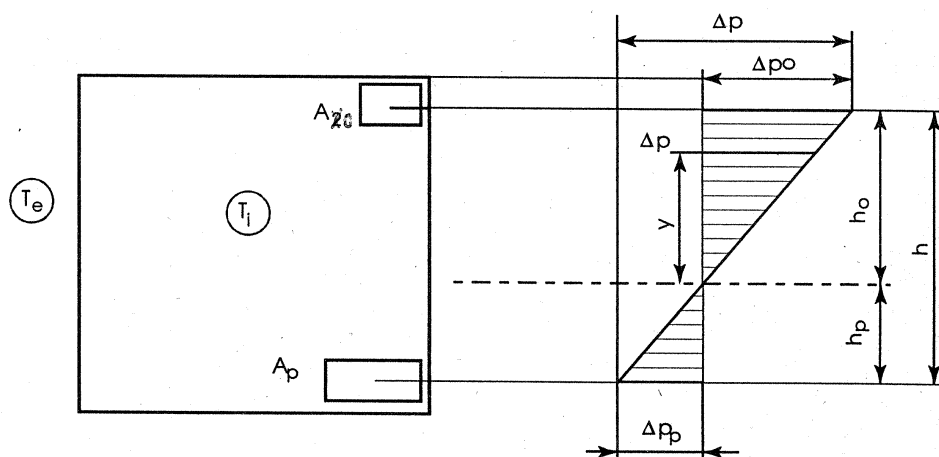
2.1.1 Princip přirozeného větrání vyvolaného tíhovou silou

Vychází z rozdílných hustot vnějšího a vnitřního vzduchu, což může být způsobeno jejich rozdílnou teplotou. Teplejší vzduch má nižší hmotnost a stoupá tedy vzhůru, kdežto studenější vzduch je těžší a má tendenci klesat. To znamená, že v horních prostorách místnosti bude teplejší vzduch než u podlahy. Ve vnějším prostředí se teplota vzduchu s rostoucí výškou nemění tak citelně. Jestliže je vnější teplota nižší než vnitřní, bude v horní části místnosti přetlak a v dolní podtlak. V určité výšce tedy není žádný tlakový rozdíl, říkáme že tudy prochází neutrální rovina n . [1, str. 167] (obr. 1)

Tlakový rozdíl ve vzdálenosti h od neutrální roviny pro neměnnou hustotu s s výškou můžeme popsat vztahem [3, str. 87]:

$$\Delta p = h \cdot (\rho_e - \rho_i) \cdot g \quad (\text{Pa}) \quad (1)$$

kde ρ_e – hustota vnějšího vzduchu (kg/m^3)
 ρ_i – hustota vnitřního vzduchu (kg/m^3)
 g – tíhové zrychlení (m/s^2)



Obr. 1 Výška neutrální roviny při větrání prostoru mezi dvěma otvory [2, str. 344]

2.1.2 Princip přirozeného větrání vyvolaného větrem

Vítr působící na návětrnou stranu domu přeměňuje svou kinetickou energii na tlakovou, čímž vzniká přetlak a naopak na závětrné straně vzniká podtlak (obr. 1) V případě ideální přeměny kinetické energie větru na tlakovou platí rovnice pro velikost absolutního tlaku [1, str.167]

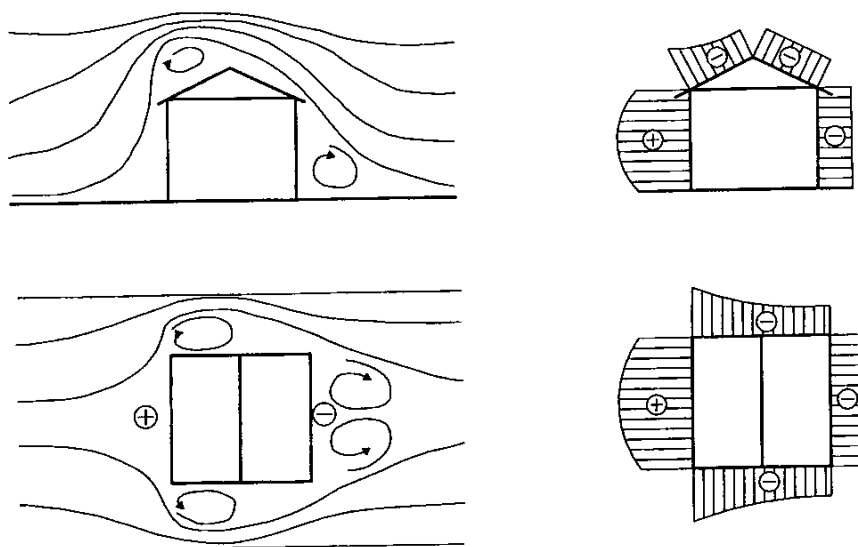
$$p = p_a + \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (\text{Pa}) \quad (2)$$

kde p_a – atmosférický tlak (Pa)
 w - rychlost větru (m/s)
 ρ - hustota vzduchu (kg/m^3)

Pro reálnou přeměnu, kde se veškerá kinetická energie nemůže přeměnit na tlakovou pak platí následující vztah pro relativní tlak [1, str.168]

$$p_{rel} = A \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} \quad (\text{Pa}) \quad (3)$$

kde A – aerodynamický součinitel větru



Obr. 2 Rozdělení tlaků na budovu vyvolaných větrem [1, str. 168]

Součinitel A závisí na tom, zdali měříme tlak na návětrné nebo závětrné straně, na směru větru, tvarech budovy a na její provzdušňenosti. Průměrná hodnota na návětrné straně je $A=0,9$ a na závětrné straně $A=-0,4$. Takže tlakový rozdíl na obou stranách činí [2, str. 345]

$$\Delta p = \Delta A \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} = 1,3 \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} \text{ (Pa)} \quad (4)$$

kde ΔA – rozdíl součinitelů větru na návětrné a závětrné straně

Tento tlakový rozdíl se průběžně vyrovnává exfiltrací a infiltrací (vzduch protéká dovnitř a ven netěsnostmi a spárami ve dveřích, oknech...). Při návrhu systému větrání, se vzhledem k nahodilému směru a intenzitě větru nezahrnuje jeho účinek, pouze se ověřuje zda nemá nějaký nepříznivý vliv. [2, str. 345]

2.1.3 Infiltrace

Představuje pronikání vzduchu do budovy netěsnostmi a spárami, vlivem rozdílu tlaků způsobeného gravitační silou nebo silou větru. Průtok vzduchu je určen následujícím vztahem (dle ČSN 06 0210) [2, str. 345]

$$\dot{V} = \sum (i \cdot l) \Delta p^{0,67} \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (5)$$

kde i – součinitel provzdušňenosti spár ($\text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-0,67}$)

l – délka spár (m)

Δp – tlakový rozdíl (Pa)

Průtok vzduchu roste s rostoucím chladem a silícím větrem. V zimním období mohou být tepelné ztráty infiltrace značné, a proto by se měl klást důraz na kvalitní utěsnění spár a mezer. Jde ovšem o větrání, které nelze zcela kontrolovat a řídit. Nejde tedy o plnohodnotný větrací systém. Infiltrace by měla být doplněna jiným větracím systémem např. provětráváním nebo nuceným větráním. Samozřejmě je možný i opačný proces tj. únik vzduchu netěsnostmi do okolí. V tomto případě hovoříme o exfiltraci. [2, str. 345]

2.1.4 Provětrávání

Jde o větrání okny. Jedná se o nejrozšířenější způsob přirozeného větrání. U gravitačního větrání okny probíhá přívod i odvod vzduchu jediným oknem (otvorem). Za předpokladu rovinného proudění pak platí pro hmotnostní tok venkovního vzduchu [2, str. 346]

$$\dot{M}_e = \mu \cdot b / 3 \cdot \sqrt{g \cdot \Delta \rho \cdot h^3 \cdot \rho_e} \text{ (kg/s)} \quad (6)$$

kde μ – průtokový součinitel (-)

b – šířka okna (m)

h – výška okna (m)

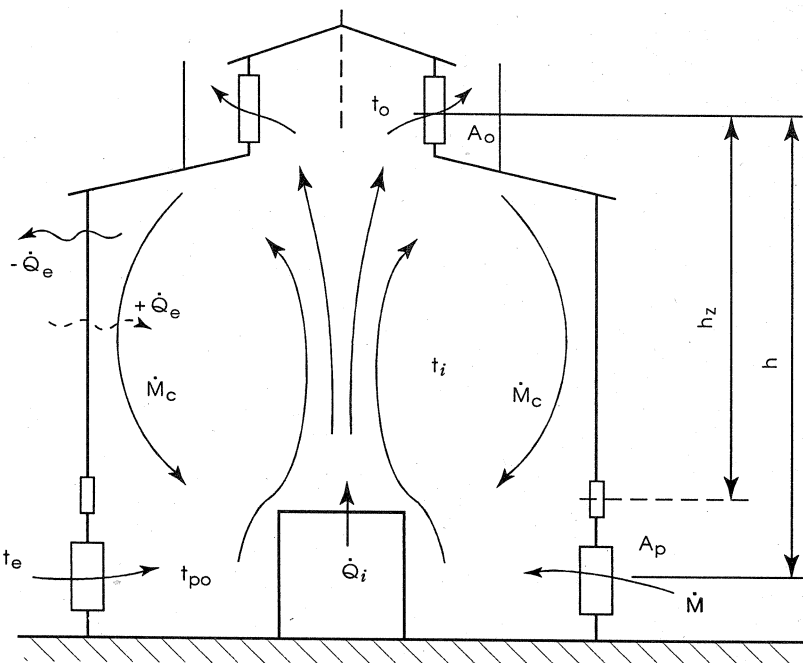
$\Delta \rho$ – konečný rozdíl hustot (kg/m^3)

ρ_e – hustota vnějšího vzduchu (kg/m^3)

Naproti tomu při působení větru, který způsobí různé tlaky na návětrné a závětrné straně, dochází k příčnému větrání. Vzduch tedy proudí napříč místností – jedním oknem vstupuje, druhým vystupuje. Pokud má být větrání okny hospodárné, mělo by se provádět rychle a intenzivně v pravidelných časových odstupech. Je třeba si uvědomit, že při provětrávání nedochází k žádné úpravě vstupujícího vzduchu, není tedy vhodné např. v průmyslových oblastech nebo v blízkosti velkých komunikací. [1, str. 168-169]

2.1.5 Aerace

Jde o přirozené větrání, které se provádí regulovatelnými větracími otvory ve stěnách a na střeše. Používá se především v průmyslových halách s teplým provozem (obr. 3), které jsou určeny minimální měrnou tepelnou zátěží od vnitřních zdrojů 25 W/m^3 jako např. sklárny. Dolními otvory ve stěnách se vzduch přivádí z čehož je pak část odváděna otvory ve střeše a část cirkuluje zpět do místnosti kde se mísí s čerstvě přivedeným vzduchem. Tato směs následně směřuje ke zdroji tepla [2, str. 346].



Obr. 3 Aerace haly teplého provozu s vývinem vnitřního tepla Q_i [2, str.346]

Hmotnostní průtok přiváděného vzduchu lze vyjádřit rovnicí [2, str. 346]

$$\dot{M} = \frac{\dot{Q}}{c \cdot (t_o - t_{ext})} \quad (\text{kg/s}) \quad (7)$$

kde $\dot{Q} = \dot{Q}_{in} \pm \dot{Q}_{ext}$ jsou externí a interní tepelné zátěže ($+\dot{Q}_{ext}$ tepelný zisk, $-\dot{Q}_{ext}$ tepelná ztráta) (W)

t_o, t_{ext} – teploty odváděného a přiváděného vzduchu ($^{\circ}\text{C}$)

c – měrná tepelná kapacita vzduchu = $1,01 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

Pro určení teploty odváděného vzduchu je třeba znát teplotní součinitel B . Ten se stanoví ze zákona zachování energie následovně [3, str. 89]

$$\dot{M} \cdot c \cdot (t_{po} - t_{ext}) = \dot{M}_c \cdot c \cdot (t_o - t_{po}) \quad (8)$$

kde $\dot{M}_c$ – hmotnostní průtok cirkulujícího vzduchu (kg/s)

t_{po} – teplota vzduchu v pracovní oblasti ($^{\circ}\text{C}$)

t_o – teplota odváděného vzduchu ($^{\circ}\text{C}$)

Po úpravě dostaneme [3, str. 89]

$$\frac{(t_{po} - t_{ext})}{(t_o - t_{ext})} = \frac{\dot{M}_c}{\dot{M} + \dot{M}_c} = B \quad (9)$$

Součinitel B je bezrozměrné číslo menší než 1. Jeho hodnota je určena tabulkami, podle typu provozu. Pomocí součinitele B se pak z rovnice č. 9 dopočítá rozdíl teplot přiváděného a odváděného vzduchu ($t_o - t_{ext}$) a ten se dosadí do rovnice č. 7. podle našich hygienických předpisů by tento teplotní rozdíl neměl překročit 5 °C. Z rovnice č. 1 se určí účinný tlak, který se rozdělí mezi přiváděcí (Δp_p) a odváděcí (Δp_o) otvory v poměru $\Delta p_p : \Delta p_o = 1 : (1 \text{ až } 2)$, přičemž z důvodu omezení rychlosti v pracovní oblasti má být $\Delta p_p \leq 5 \text{ Pa}$ [3, str. 89-91].

2.1.6 Šachtové větrání [1, str. 169-170]

Větrání jednotlivých místností probíhá pomocí větracích otvorů, které ústí do společného svislého průduchu – šachty. Ta obvykle vyúsťuje nad střechou budovy. Výúst většinou bývá pro lepší funkci zakončena deflektorovou (výfukovou) hlavicí, která v ústí způsobuje podtlak. Aby tento systém větrání správně pracoval, předpokládá se dostatečná produkce tepla v místnostech. Využívá se především u bytového větrání a v průmyslu při odvodu teplých škodlivin.

Následující vztah definuje tzv. účinný tah šachty, který je určen rozdílnými hustotami v místnosti a ve vnějším prostředí.

$$\Delta p = h \cdot (\rho_e - \rho_i) \cdot g \text{ (Pa)} \quad (10)$$

kde h – výška šachty (m)
 ρ_e – hustota vnějšího vzduchu (kg/m^3)
 ρ_i – hustota vnitřního vzduchu (kg/m^3)
 g – tíhové zrychlení (m/s^2)

S rostoucím rozdílem samozřejmě roste rychlost proudění šachtou. K správné funkci systému potřebujeme takový účinný tah, který pokryje tlakové ztráty způsobené průtokem vzduchu šachtou, ztráty dynamického tlaku a ztráty ve vstupu a výstupu šachty. Při návrhu šachty se nejprve volí průměr kanálu d a poté kontrolujeme, zda je splněna následující rovnice č. 11

$$\Delta p = \left(\lambda \cdot \frac{h}{d} + \sum \xi + 1 \right) \cdot \rho_i \cdot \frac{w^2}{2} + (p_e - p_i) \text{ (Pa)} \quad (11)$$

kde Δp – účinný tah (Pa)
 λ – součinitel tření (-)
 ξ – ztrátové součinitele (-)
 p_e – vnější (atmosférický) tlak (Pa)
 p_i – vnitřní statický tlak (Pa)

S příznivým účinkem větru se v rovnici nepočítá.

Šachtové větrání se může vyskytovat např. v následujících obměnách

- šachtové větrání s přívodem vzduchu
- šachtové větrání s pomocným sběrným průduchem
- šachtové větrání s využitím působení větru
- sdružené šachtové větrání

2.1.7 Požární přirozené větrání

Provádí se zvláštními větracími otvory, které mají v případě požáru odvádět teplo a kouř z místností a vytvořit přízemní bezkouřovou vrstvu, aby mohli probíhat záchranné operace. V případě požáru se pomocí automatizovaného systému (tavná pojistka nastavena na 72 °C) otevírají střešní nástavce a zavírají se požární klapky. Požární klapky jsou bezpečnostním

prvkem zabraňujícím šíření požáru vzduchotechnikou mezi jednotlivými požárními úseky budovy. [2, str. 347, 354]

2.2 Nucené větrání

Při nuceném větrání je vzduch přiváděn a odváděn ventilátory, které jsou poháněny elektromotory. Tedy při nuceném větrání je, na rozdíl od větrání přirozeného, vždy spotřebována energie. Systémy nuceného větrání proto mají vyšší pořizovací i provozní náklady. Používají se všude tam, kde nepostačují systémy přirozeného větrání. Mimo jiné např. v prostorách s přísnými hygienickými požadavky nebo s požadavky na přibližně neměnné vnitřní prostředí. Značnou výhodou proti přirozenému větrání je možnost zapojení doplňkových zařízení jako jsou filtry, ohřívače, chladiče, zvlhčovače atd. [1, str.175]

Podle rozsahu rozdělujeme nucené větrání na

- celkové
- místní

Podle vybavenosti prvky na úpravu vzduchu dělíme nucené větrání na

- větrání bez úpravy vzduchu
- větrání s částečnou úpravou vzduchu (teplovzdušné větrání)
- větrání s úplnou úpravou vzduchu (klimatizace)

Dále se nucené větrání člení dle poměru průtoků přiváděného a odváděného vzduchu. Ten je určen tzv. součinitelem větrací rovnováhy [1, str. 176]

$$\varepsilon = \frac{\dot{M}_p}{\dot{M}_o} \quad (-) \quad (12)$$

kde $\dot{M}_p, \dot{M}_o$ jsou po řadě hmotnostní průtoky přiváděného a odváděného vzduchu v kg/s

Podle výše poměru průtoků tedy rozlišujeme [1, str. 176]

- podtlakové větrání $\varepsilon < 1$
- rovnotlaké větrání $\varepsilon = 1$
- přetlakové větrání $\varepsilon > 1$

U systému s nuceným přívodem a odvodem vzduchu se dají přetlakové a podtlakové poměry různě nastavovat. Provádí se to regulací průtoků přiváděného a odváděného vzduchu.

2.2.1 Podtlakové větrání

Odvádíme-li z větrané místnosti více vzduchu než přivádíme, jde o podtlakové větrání. Podtlakové větrání se využívá v případě, že chceme zabránit úniku škodlivin do okolních místností (např. u chemických laboratoří) [1, str. 176]

2.2.2 Rovnotlaké větrání

V případě rovnosti objemových průtoků přiváděného a odváděného vzduchu nastává rovnotlaké větrání. [1, str. 176]

2.2.3 Přetlakové větrání

Přivádíme-li do větrané místnosti více vzduchu než odvádíme, jde o přetlakové větrání. Přetlakové větrání se využívá v případě, že chceme zabránit vniknutí škodlivin z okolních místností nebo exteriéru. [1, str. 176]

Některé výhody nuceného větrání oproti přirozenému: [7]

- Možnost kombinace větracího systému se systémem teplovzdušného vytápění nebo klimatizace.
- Nucené větrání umožňuje využívat zařízení pro zpětné získávání tepla. Odváděným vzduchem je předehříván vzduch přiváděný, což značně snižuje provozní náklady na vytápění. Účinnost rekuperace může dosáhnout až 80%. Samozřejmě je nutné si předem propočítat náklady na vytápění a porovnat je s náklady na nákup rekuperačního zařízení a úsporami z jeho provozu (závisí především na době provozu a cenách tepla).
- Dokonalá filtrace částic v přiváděném nebo cirkulujícím vzduchu pomocí speciálních tkanin nebo elektrostatických filtrů.
- Možnost automatické regulace výměny vzduchu podle aktuálních požadavků (např. podle počtu osob) na základě údajů získaných a vyhodnocených z čidel CO₂, oděrů a vlhkosti. Úprava tlakového poměru v místnosti dle potřeb.
- Zaručená funkce systému i za nepříznivých tlakových podmínek (např. letní inverze)

2.3 Kombinované větrání [2, str. 348]

Jde o kombinaci přirozeného větrání s jednoduchým větráním nuceným

- vzduch se nuceně odvádí a přivádí se přirozenou cestou
- vzduch se nuceně přivádí a odvádí se přirozenou cestou

V prvním případě je vlivem nuceného odvodu vzduchu ve větrané místnosti podtlak. Přívod vzduchu je pak zajišťován přirozeným způsobem okny, dveřmi nebo jinými otvory. Takový systém větrání se používá v místnostech se značně znečištěným vzduchem (sociální zařízení, odsávání v kuchyních atd.). Znečištění se pak vlivem podtlaku nešíří do okolních místností. U odsávacích systémů s vyššími výkony se pak mohou projevit některé negativní vlastnosti. Např. může docházet k nasávání znečištěného vzduchu z okolních místností nebo studeného vzduchu spárami v oknech nebo ve dveřích, což může být nepříjemné. Navíc není možné tento větrací systém doplnit zařízením pro zpětné získávání tepla (rekuperaci), které by mohlo značně snížit provozní náklady [7]. V souvislosti větrání s nuceným odvodem se někdy hovoří o větrání havarijním. To se uplatní při nějaké havárii, kdy se nepřiměřeně zvýší obsah škodlivin nebo při prevenci před výbuchem. Dochází k několikanásobnému zvýšení odvodu vzduchu, který chrání zdraví pracovníků.

Kombinované větrání s nuceným přívodem vzduchu. Přebytkem přiváděného vzduchu vzniká přetlak. Vzduch pak uniká spárami v oknech a dveřích nebo speciálními ventilačními otvory. Přiváděný vzduch bývá filtrován, v zimním období musí být i předehříván. Ovšem ani tady nelze využít rekuperačního zařízení, které bývá součástí moderních vzduchotechnických systémů. Tento systém se používá v prostorách s požadavky na čisté prostředí jako kanceláře, prodejny atd.

2.4 Místní větrání

Místní větrání je vymezeno pro určitý menší prostor. Slouží především k ochraně zdraví pracovníků před nebezpečnými škodlivinami (např. v chemických laboratořích) – *místní odsávání* nebo *vzduchové sprchy*. Jako ochrana před škodlivinami a dále také k vytvoření vhodných klimatických podmínek (na pracovištích nebo odpočívadlech) se využívají tzv. *vzduchové oázy*. Místní větrání může také sloužit k zvýšené hospodárnosti provozu – *vzduchové clony*, které zabráňují nežádoucímu pronikání vzduchu otevřenými otvory ve stěnách [2, str. 354]

2.4.1 Vzduchové sprchy

Vzduchové sprchy jsou zařízení, která slouží především k ochraně před sálavým teplem. S rostoucí rychlostí proudění se zvyšuje součinitel přestupu tepla z povrchu osálaného oděvu. Tím se zvýší tepelný tok konvekcí sdílený do okolí a klesá tepelný tok prostupující oděvem k tělu. Tento jev popisuje rovnice č. 13 [2, str. 354-355]

$$A \cdot \dot{q}_r = \alpha_K \cdot (t_p - t_a) + (t_p - \bar{t}_s) / R \quad (13)$$

kde A – součinitel poměrné tepelné pohltivosti oděvu
 $\dot{q}_r$ – hustota tepelného sálavého toku (W/m^2)
 α_K – součinitel přestupu tepla konvekcí
 t_p – povrchová teplota oděvu ($^{\circ}\text{C}$)
 $\bar{t}_s$ – střední teplota pokožky (na osálané straně 37°C)
 t_a – teplota vzduchu ($^{\circ}\text{C}$)
 R – tepelný odpor oděvu

Platí $t_p > \bar{t}_s > t_a$ tj. na osálané straně je povrchová teplota vyšší než teplota pokožky a teplota okolního vzduchu. Pohlčené teplo buď přestupuje do vzduchu (první člen pravé strany rovnice) nebo prostupuje skrz oděv k pokožce (druhý člen pravé strany rovnice). Právě teplo prostupující k pokožce je škodlivým teplem, které by mělo být co nejmenší. Toho lze docílit snížením sálavého toku (mechanickými clonami), snížením součinitele pohltivosti oděvu A (např. hliníkovými polepy), zvýšením součinitele přestupu tepla α_K (vzduchovými sprchami) nebo zvětšením tepelného odporu oděvu R (např. více vrstev oděvu). [3, str. 103]

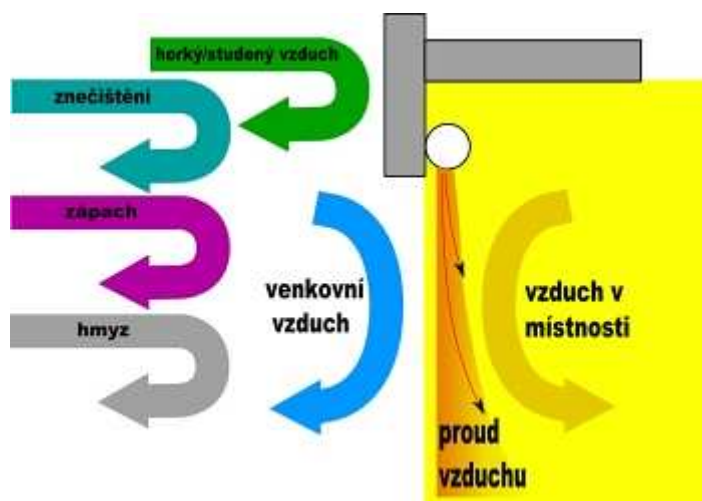
2.4.2 Vzduchové oázy

Vzduchovou oázou je myšlen místní přívod vzduchu na pracoviště, za účelem snížení množství škodlivin a zlepšení mikroklimatických podmínek. Také se používají pro odpočívací místa v provozovnách. Ta jsou oddělena od ostatního prostoru stěnou asi 2 m vysokou s intenzitou větrání 15-20 l/h [2, str. 356].

Rychlosti proudění na pracovišti většinou nepřesahují 0,5 m/s a vzduch je přiváděn velkoplošnými výustěmi, anemostaty a vzduchovody [3, str. 105]

2.4.3 Vzduchové clony

Požívají se k oddělení dvou prostorů (většinou vnitřního a vnějšího), mezi nimiž jsou tlakové rozdíly. Můžeme se s nimi setkat jak v průmyslu (vratové clony) tak i v občanských stavbách (např. u supermarketů). Clonu vytváří proud vzduchu vyfukovaný ze štěrbin, které mohou být v rovině země (spodní), nad otvorem (horní), nebo po obou stranách otvoru (boční). Hybnost vyfukovaného proudu vzduchu vyvolává sílu, která působí proti přetlaku v otvoru a tím snižuje i průtok otvorem [2, str. 356-357].



Obr. 4 Princip vzduchové clony

[<http://www.dimplex.termokomfort.cz/img/de/vzduchclona.jpg>]

3 Požadavky na větrání společenských sálů

Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí budov upravují platné právní předpisy. Výchozími předpisy jsou následující zákony:

- zákon č. 183/2006. - o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)
- zákon č. 20/1966 Sb. o zdraví lidu ve znění zákona č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví
- zákon č. 65/1965 Sb. - zákoník práce ve znění zákona č. 155/2000 Sb.

Uživatelé staveb „pro shromažďování většího počtu osob jsou povinni zajistit, aby vnitřní prostředí pobytových místností v těchto stavbách odpovídalo hygienickým limitům chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů, upravených prováděcími právními předpisy.“[5] Požadavky stanovené výše uvedenými zákony tedy dále pro stanovené typy vnitřních prostor upravují některé vyhlášky a nařízení vlády, a to především podle činností které se v těchto prostorech provádí. Pro společenské sály jsou podstatné následující předpisy:

- prováděcí předpis k zákoníku práce - nařízení vlády č. 178/2001 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci před některými riziky plynoucími z pracovních podmínek a požadavky na pracovní prostředí a pracoviště, a jeho novelizace - nařízení vlády č. 523/2002 Sb., které pozměňuje předchozí nařízení.
- vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb
- vyhláška č. 137/1998 Sb. o obecných technických požadavcích na výstavbu (oddíl 2, ochrana zdraví, zdravých životních podmínek a životního prostředí)
- nařízení vlády č. 148/2006 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

Kromě zákonem stanovených požadavků, se při návrhu větracích systémů vychází z platných českých norem, popř. i zahraničních norem blízkých států s podobnými klimatickými podmínkami.

3.1 Mikroklimatické podmínky

Mikroklimatickými podmínkami se podle vyhlášky č. 6/2003 Sb.[6] rozumí „podmínky teplotní, vlhkostní a proudění vzduchu ve vnitřním prostředí staveb.“ Právě tyto podmínky patří mezi nejdůležitější pro zajištění zdraví a spokojenosti osob. Nezanedbatelné jsou také jejich vlivy na životnost stavebních materiálů, strojů, zařízení atd.

Dle vyhlášky č. 6/2003 Sb musí být v pobytové místnosti „zajištěno přímé nebo nucené větrání. Nucené větrání se použije tam, kde přímé větrání je nedostačující k odvodu vznikajících škodlivin a tepelně-vlhkostní zátěže prostoru.“ [6]

Spokojenost člověka s tepelným stavem vnitřního prostředí souvisí s pojmem *tepelná pohoda*. Je to stav kdy člověk nepocítí uje horko ani chlad. Záleží ovšem také na způsobu, kterým bylo tepelné pohody dosaženo. Nejedná se o tepelnou pohodu, pokud jí bylo dosaženo mokřím pocením. Právě ve stavu tepelné pohody je dosahováno nejlepších pracovních výsledků. Roste tedy efektivita práce což se může příznivě projevit i v ekonomice firmy.

Tepelná pohoda úzce souvisí s pojmem *tepelná rovnováha*. Tepelná rovnováha je stav člověka, kdy množství tepla vyprodukovaného člověkem je rovno množství tepla odvedenému do okolí. Lze ji vyjádřit funkčním vztahem č. 14 [1, str.24]

$$f(\dot{q}_m, R_{CL}, t_i, t_r, w, p_v, t_k, \dot{q}_w) = 0 \quad (14)$$

kde $\dot{q}_m$ – měrná produkce tepla (=metabolizmus) (W/m²)
 R_{CL} – tepelný odpor oděvu ((m².K)/W)
 t_i – teplota okolního vzduchu (°C)
 t_r – střední radiační teplota okolních ploch (°C)
 w – rychlost proudění vzduchu (m/s)
 p_v – tlak vodních par ve vzduchu – reprezentuje vlhkost vzduchu (kPa)
 t_k – střední teplota pokožky (°C)
 $\dot{q}_w$ – měrný tepelný tok z těla vypařovaným potem (W/m²)

Střední teplota pokožky t_k a tepelný tok z jednotky povrchu těla vypařovaným potem $\dot{q}_w$ jsou závislé na konkrétní lidské činnosti. Tyto veličiny tedy můžeme vyjádřit jako funkci vnitřní tepelné produkce těla [1, str. 24]

$$t_r, \dot{q}_w = f(\dot{q}_m) \quad (15)$$

Po dosazení do vztahu č. 15 pak získáme zjednodušenou funkční závislost [1, str. 24]

$$f(\dot{q}_m, R_{CL}, t_i, t_r, w, p_v) = 0$$

Ze vztahu lze tedy vyčíst jednotlivé činitele mající vliv na tepelnou rovnováhu člověka. Rovnice tepelné rovnováhy vyjadřuje stav, kdy tepelná produkce těla je rovna tepelným ztrátám. Zápisem pomocí rovnosti tepelných toků pak dostaneme [1, str. 25]

$$\dot{Q}_{vypr} = \dot{Q}_{ztra} \quad (16)$$

Po dosazení tepelných toků za ztrátové teplo dostaneme rovnici tepelné rovnováhy [1, str. 25]

$$\dot{Q}_{vypr} = \pm \dot{Q}_{kd} \pm \dot{Q}_k \pm \dot{Q}_s + \dot{Q}_d + \dot{Q}_w \pm \dot{Q}_a \quad (17)$$

kde $\dot{Q}_{vypr}$ – vnitřní tepelná produkce lidského těla (W)
 $\dot{Q}_{kd}$ – tepelný tok vedením (obvykle se zanedbává) (W)
 $\dot{Q}_k$ – tepelný tok prouděním (W)
 $\dot{Q}_d$ – tepelný tok sáláním (W)
 $\dot{Q}_s$ – tepelný tok odváděný dýcháním (W)
 $\dot{Q}_w$ – tepelný tok odváděný vypařováním (W)
 $\dot{Q}_a$ – tepelný tok akumulovaný v těle (obvykle se zanedbává) (W)

Pro představu člověk o hmotnosti 70 kg a výšce 170 cm vyprodukuje v klidném stavu teplo 81,4W (bazální metabolizmus) [3, str. 13].

Nyní přejdeme k jednotlivým činitelům, ovlivňujícím tepelný stav prostředí. Jsou to

- teplota okolního vzduchu t_i (°C)
- relativní vlhkost vzduchu ϕ (%)
- rychlost proudění vzduchu w (m/s)

Dalšími faktory pak jsou činnost člověka a tepelný odpor oděvu R_{CL} .

Vzhledem k fyziologickým odlišnostem jednotlivců není možné, aby se při určitém stavu prostředí cítili všichni v tepelné pohodě. Podle Fangera vždy existuje nejméně 5 % nespokojených. Za vyhovující je považován takový stav prostředí, kdy pocit nepohody pociťuje méně než 15% přítomných osob [1, str. 26].

3.1.1 Teplota vzduchu

Teplota vzduchu se měří klasickým rtuťovým teploměrem v místě pobytu člověka ve výšce hlavy (nezohledňuje tepelné sálání). Optimální teplota vzduchu se určuje podle činnosti, pro kterou je místnost určena. Zda v ní budou muži nebo ženy, na jejich věku, kolik vrstev oblečení budou mít na sobě atd. V kinech a divadlech je skladba návštěvníků různorodá, oblečení pak závisí na ročním období. Právní předpisy ČR, konkrétně vyhláška č. 6/2003 Sb. [6], stanovují konkrétní požadavky na výslednou teplotu kulového teploměru t_g (°C). Ta se měří uprostřed místnosti a zahrnuje i tepelné sálání ploch okolních stěn, které bude popsáno v další kapitole. Teplota kulového teploměru se liší pro teplé a chladné období roku. Toto rozlišení zohledňuje vrstvy oblečení, které mají přítomné osoby, velikost „tepelného šoku“, který pociťují při přechodu do venkovního prostředí, a jiné vlivy. Pro zasedací místnost staveb pro shromažďování většího počtu osob (kina, divadla) má být výsledná teplota t_g [6, příloha č.1]

- $24,5 \pm 1,5$ °C pro teplé období roku
- $22,0 \pm 2,0$ °C pro chladné období roku

Výše uvedené teploty nemusí být dodrženy v mimořádně teplých (více než 30°C) nebo mimořádně chladných dnech (méně než 15°C). Jestliže klesne v mimořádně chladném dni vnitřní průměrná teplota pod 16°C, a nelze-li teplotu zvýšit vytápěním na vyhláškou požadovanou teplotu, pak se provoz v místnosti zastaví [6].

3.1.2 Střední radiační teplota okolních ploch [1, str. 27]

„Střední radiační teplota okolních ploch t_r je definována jako (průměrná) teplota všech okolních ploch v prostoru obklopujících člověka, při níž by byl celkový sálavý tok mezi povrchem těla a okolními plochami stejný jako ve skutečnosti.“[1, str. 27]. Střední radiační teplotu vzduchu t_r spolu s teplotou vnitřního vzduchu t_i sdružuje tzv. operativní teplota t_o , ta je definována jako jednotná teplota černého uzavřeného prostoru, ve kterém by sdílel člověk konvekcí a radiací, stejné množství tepla jako ve stejnorodém prostoru. Operativní teplotu lze vyjádřit z rovnice tepelné bilance. Pak

$$t_o = \frac{\alpha_k \cdot t_i + \alpha_r \cdot t_r}{\alpha_k + \alpha_r} \quad (18)$$

kde α_k , α_r jsou po řadě součinitelé přestupu konvekcí a radiací (sáláním)

Pro velmi nízké rychlosti vzduchu ($w \leq 0,3$ m/s) platí přibližná rovnost součinitelů α_k a α_r . Pak platí pro operativní teplotu zjednodušený vztah

$$t_o = 0,5 \cdot (t_i + t_r) \quad (19)$$

U téměř klidného vzduchu ($w \leq 0,2$ m/s) je možné nahradit operativní teplotu výslednou teplotou kulového teploměru t_g (°C).

Pro měření střední radiační teploty ploch se používají

- dva katateploměry (jeden obyčejný, druhý s kovově lesklou baňkou)
- Vernonův kulový teploměr

Obecně platí, že hodnota teploty vnitřních povrchů stěn má být maximálně o 2-4°C nižší, než je teplota vnitřního vzduchu a nejvýše o 6°C vyšší než je teplota lidského těla. Vyhláška č. 6/2003 Sb.[6] navíc zakazuje, aby byla intenzita osálení v místě hlavy člověka vyšší než 200 W/m².

3.1.3 Vlhkost vzduchu

Teplota a vlhkost vzduchu φ (%) se vzájemně ovlivňují. Zatímco udržování optimálních teplot v budovách nebývá složité, udržování potřebné relativní vlhkosti bývá problematičtější. Nemalý vliv přitom mají dokonalá utěsnění spár a oken, které mají zajistit tepelnou úsporu staveb. To zabraňuje přirozené aeraci. Běžně probíhající výměna vzduchu je tedy značně omezena, což negativně ovlivňuje vlhkost [7]

Relativní vlhkost vzduchu v obytných místnostech stanovuje vyhláška č. 6/2003 Sb.[6]

- v teplém období roku nejvýše 65 %
- v chladném období roku nejméně 30 %

Při vyšší relativní vlhkosti než 60 %, což nastává hlavně v létě, je narušeno odpařování potu z pokožky. Tím je porušena tepelná pohoda. Naopak pokud v zimních obdobích relativní vlhkost klesne pod 30 %, zvyšuje se prašnost prostředí a suchý vzduch vysušuje sliznici dýchacích cest.[1, str.28].

Míra relativní vlhkosti také ovlivňuje tvorbu plísní a mikroorganismů. Těm se začíná dařit při vlhkostech vyšších než 55 %, především v chladných a nevětraných rozích místností. To může mít negativní vliv na zdraví obyvatel vnitřních prostor. Mohou u nich vznikat záněty průdušek, nevolnost... [7]

3.1.4 Rychlost proudění vzduchu

Proudící vzduch zvyšuje odvádění tepla z pokožky, a tím člověka ochlazuje. Čím vyšší rychlost proudění, tím více odvedeného tepla. V horkých letních dnech je rychlejší proud vzduchu příjemný. V chladnějším prostředí může ovšem docházet k pocitům diskomfortu. Vyhláška č. 6/2003 Sb.[6] stanovuje rychlost proudění vzduchu v obytných místnostech

- v teplém období roku na 0,16 – 0,25 m/s
- v chladném období roku na 0,13 – 0,20 m/s

Při mimořádně teplých dnech je samozřejmé možné v neklimatizovaných místnostech volit ještě vyšší rychlosti proudění než výše uvedených 0,25 m/s. Ale např. při teplotě 26°C lze za nejvyšší možnou rychlost proudění považovat 0,4 m/s.[1, str. 28]. Vyšší rychlosti už by lidé mohli pociťovat jako průvan.

3.2 Škodliviny

Při pobytu lidí v uzavřených prostorech, obzvláště pak ve výrobních prostorech, se kvalita vzduchu zhoršuje látkami, které přichází do ovzduší [3, str. 18]. Tyto příměsi souhrnně označujeme jako škodliviny. Škodliviny mohou být biologického původu (biologické škodliviny) nebo mohou vznikat při výrobní činnosti (průmyslové škodliviny).

Biologické škodliviny vznikají především při dýchacím procesu, kdy člověk vydechuje vzduch obsahující 4% CO₂ a 5% H₂O. Při pobytu v uzavřené místnosti se tedy zvyšuje obsah CO₂ ve vzduchu a roste vlhkost. Dále se znečišťujícím účinkem projevují další látky jako plísně, bakterie a mastné kyseliny, které způsobují zápachy [3, str. 18].

Průmyslové škodliviny vznikají především při výrobních procesech. Rozlišujeme plyny, páry a kapalně (mlhovina) nebo tuhé (prach, kouř) aerosoly. Někdy sem řadíme nadměrné teplo.[2]

Škodliviny mohou negativně působit na zdraví lidí nebo zvířat, životnost strojních zařízení, životnost budov, zmetkovitost součástek atd. Proto se zajišťuje jejich odvod správnou výměnou vzduchu. S rostoucí intenzitou lidské práce, roste produkce škodlivin. Měla by se tedy zvyšovat i výměna vzduchu v prostoru.

Vyhláška č. 6/2003 stanovuje „limitní koncentrace chemických ukazatelů ve vnitřním prostředí budov.“ [6, příloha č.2]. Koncentrace škodlivin v ovzduší se měří v jednotkách hmotnostních (mg/m^3 popř. %) nebo objemových ($\text{cm}^3/\text{m}^3 = \text{ppm}$ popř. %).

Složky vnitřního prostředí budov, které jsou tvořeny činiteli přenášejícími se vzduchem, nazýváme mikroklima. V rámci škodlivin rozlišujeme mikroklima [8]

- odérové
- toxické
- mikrobiální
- ionizační
- zvukové

Dále pak aerosolové, elektrostatické, elektromagnetické a elektroiontové, ale tato nejsou pro návrh větracích systému společenských sálů až tak zásadní.

3.2.1 Odérové mikroklima [1, str. 30]

Za odéry (zápachy) označujeme takové příměsi vzduchu, které lidé pociťují jako vůni nebo zápach. Mohou to být látky organické nebo anorganické. Bývají produkovány lidmi popř. jejich činností, zvířaty, rostlinami, stavebními materiály atd. Do zápalů neřadíme toxické škodliviny, které budou popsány v následující kapitole.

Zwaardemarker rozlišuje pět základních typů odérů

- éterický (lidské pachy)
- aromatický (pach zralého ovoce)
- izovalerický (pach kouření tabáku a lidského potu)
- zažluklý (pach mlékárenských výrobků)
- narkotický (pachy rozkládajících se proteinů a tabáku)

Zdroje zápalů mohou být vnitřní (lidská činnost, pachy stavebních materiálů) nebo se zápachy dostávají do objektu z vnějšího prostředí. Odéry nejsou člověku nebezpečné, mohou v něm ale vyvolávat pocity únavy, nesoustředěnosti nebo nevolnosti. Proto je snaha eliminovat je vhodnými větracími systémy resp. udržet jejich hladinu na přijatelné hodnotě. Hlavním ukazatelem pro určení optimálního množství odéru ve vzduchu jsou tzv. *prahové koncentrace odérových látek*. Jsou to taková množství zápalu, která už dokážeme rozpoznat čichem. Pro nejčastější druhy zápalu jsou uvedeny v tabulce Tab. 1. [1, str. 30]

Tab. 1 – Prahové koncentrace odérů [1, str. 30]

Odérová látka	Koncentrace	
	ppm	mg/l
tetrachlormetan	0,0440000	70,000000
amoniak	0,3480000	50,000000
chlor	0,0102000	3,500000
akrolein	0,0041200	1,800000
amylacetát	0,0053300	1,000000
pyridin	0,0008100	0,250000
sirovodík	0,0006220	0,200000
ozon	0,0000982	0,050000
organické sirníky	-	0,005555
vaniliová esence	-	0,000080
pižmo	-	0,000004

Zajištění optimálního oděrového mikroklimatu se provádí [8]

- zásahem do zdroje škodlivin - nejúčinnější způsob je likvidace zdroje
- zásahem do prostoru mezi zdrojem a subjektem, který odér vdechuje – to se provádí vytvořením nějaké pevné překážky (dělení větracích šachet do několika částí), vhodným větráním, filtrací, dezodorizací nebo neutralizací ionizovaným ozónem

3.2.2 Toxické mikroklima

Toxickými škodlivinami označujeme plyny s patologickými účinky [7]. Ty mohou být organické nebo anorganické. Charakteristickými zástupci jsou především oxidy síry (SO_x), oxidy dusíku (NO_x), oxid uhelnatý (CO), ozón (O_3), smog, formaldehyd, styren a některé uhlovodíky [1, str. 30].

V uzavřených prostorech se jako nejnebezpečnější jeví CO , který se uvolňuje při nedokonalém spalování fosilních paliv, biomasy nebo při kouření. Je to bezbarvý plyn, bez chuti a zápachu. Pro člověka je značně jedovatý, protože má velkou vaznost na hemoglobin – krevní barvivo které přenáší kyslík do tkání v těle. Znemožňuje tak vázání a rozvod kyslíku po lidském těle. Pro otrávené oxidem uhelnatým je typické třesňové zbarvení kůže a sliznic. Nejčastěji k tomu dochází při používání spalovacích motorů v uzavřených prostorech anebo při špatném odvětrání plynových spotřebičů [9].

Dalším nebezpečným plynem, který vzniká při nedokonalém odvětrání plynových spotřebičů nebo ve spalovacích motorech je oxid dusičitý (NO_2). Je to jedovatý plyn, který má prokazatelně karcinogenní účinky. Jeho běžná koncentrace je asi $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ v místnostech s plynovými sporáky a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ v okolních místnostech [7]. Vyhláška č. 6/2003 stanovuje limitní hodinovou koncentraci na $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [6, příloha č. 2].

Formaldehyd se uvolňuje z některých moderních stavebních materiálů. Má rozpoznatelný zápach. Při vyšších koncentracích způsobuje podráždění očí a sliznic [7].

Styren se podobně jako formaldehyd uvolňuje z některých stavebních materiálů (polystyren). Má nasládlý zápach a ve vyšších koncentracích působí dráždivě [7].

Zdrojem ostatních toxických uhlovodíků jsou především emise výfukových plynů a pohonné látky.

Optimalizace množství toxických škodlivin se provádí [8]

- zásahem do zdroje škodlivin – používáním vhodných stavebních materiálů, pravidelnou technickou kontrolou vytápěcích zařízení
- zásahem do prostoru mezi zdrojem a subjektem, který škodliviny vdechuje – omezení šíření toxických látek v budově (popř. vnikáním látek zvenčí do budovy) oddělenými větracími šachtami, vhodným větráním, filtrací nebo neutralizací ionizovaným ozónem

3.2.3 Oxid uhličitý

Oxid uhličitý (CO_2) představuje nejvýznamnější škodlivinu v uzavřených nevýrobních prostorech. Jeho hlavním producentem je člověk, který při procesu dýchání vdechuje asi 0,03 % CO_2 (objemových) a vydechuje do ovzduší přibližně 4 % CO_2 . Ve společenských sálech jako jsou kina a divadla, se shromažďuje velké množství osob. Produkce CO_2 tedy značně roste, a aby se udržela bezpečná koncentrace ve vzduchu, je třeba tyto místnosti účinně větrat. Nejvyšší přípustná koncentrace (NPK) CO_2 v místnosti je podle hygienických směrnic 0,5 % (obj.) se zohledněním dalších škodlivin které CO_2 obvykle doprovázejí [1, str. 31]. Podle tzv. Pattenkoferova hygienického pravidla by ale koncentrace CO_2 v místnosti

při trvalém pobytu neměla překročit 0,15 % (obj.), jinak se vzduch v místnosti pokládá za znehodnocený [1, str. 31].

Průtok čerstvého vzduchu $\dot{V}_1$ potřebný k tomu, aby nebyla překročena maximální koncentrace CO_2 (podle Pattenkofera $k_{\max}=0,15$ %) stanovíme ze vztahu [1, str. 31]

$$\dot{V}_1 = \frac{\dot{V}_d \cdot k_d}{k_{\max} - k} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (20)$$

kde $\dot{V}_d$ – objemový průtok vydechovaného vzduchu jedním člověkem (m^3/h)
 k_d – koncentrace CO_2 ve vydechovaném vzduchu (-)
 k – koncentrace CO_2 ve volné atmosféře (-)

Objemový průtok vydechovaného vzduchu jedním člověkem při klidném sezení je přibližně $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ [1, str. 31]. Koncentrace CO_2 ve vydechovaném vzduchu činí $k_d = 4$ % a koncentrace CO_2 ve volné atmosféře asi $k = 0,03$ %. Po dosazení do vztahu č. 20 dostaneme

$$\dot{V}_1 = \frac{0,5 \cdot 0,04}{0,0015 - 0,0003} \approx 16,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

Německá norma DIN 1946/1983 (Německo je sousedním státem a má tedy podobné klimatické podmínky) stanovuje minimální dávky čerstvého vzduchu na osobu v divadlech a kinech na $20 \text{ m}^3/\text{h}$. Pokud by v těchto prostorách bylo povoleno kouření, doporučuje se dle stejné normy zvýšit dávky o $20 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobu [11].

3.2.4 Mikrobiální mikroklima

Mikroorganismy (viry, bakterie, plísňe, pyly) tvoří v ovzduší mikrobiální mikroklima. Bývají vázány v tuhých nebo v kapalných aerosolech a přenášejí různá infekční onemocnění. Mohou být i příčinou alergických nebo toxických projevů u člověka [1, str. 33]. Vždy se vyskytují v uzavřených místnostech s větší koncentrací lidí (sem patří i kina, divadla).

Podle míry rizika infekce se mikroby člení do následujících skupin [1, str. 33].

- biologický činitel skupiny 1 – obvykle nevyvolá onemocnění u člověka
- biologický činitel skupiny 2 – může vyvolat onemocnění
- biologický činitel skupiny 3 – může způsobit závažné onemocnění a existuje nebezpečí rozšíření do okolního prostředí
- biologický činitel skupiny 4 – způsobuje závažné onemocnění a existuje nebezpečí rozšíření do okolního prostředí

Zdrojem patogenních mikroorganismů jsou především lidé. Uvolňují se do vzduchu z oblečení, během hovoru, při kašli atd. a přetrvávají v něm vázány v aerosolových částicích. Doba setrvávání závisí především na velikosti částic. Mikroby mohou ovšem do vnitřních prostor pronikat i z vnějšího ovzduší, mohou vznikat v klimatizačních nebo větracích jednotkách, ve filtrech nebo se mohou usazovat ve vzduchovodech. Často se vyskytují v radiátorových odpařovačích, jejichž čištění bývá zanedbáváno [8].

Optimalizace množství mikrobů v ovzduší se provádí [8]

- zásahem do zdroje mikrobů – čisté oblečení, obuv a pokožka popř. rouška apod. mohou zabránit šíření z lidského zdroje. Další možností je izolace nemocných. Pokud jsou zdroji vzduchotechnická zařízení nahrazuje se vzduchová sprcha parním zvlhčovačem, který vlhčí vzduch rozprašováním kapének vody na ohřívák. U odvlhčovacích zařízení se pak preferují suché metody před kondenzací na chladiči.

Kondenzace vody na stěnách se odstraňuje vhodnou izolací, větráním anebo odvlhčovacím systémem.

- zásahem do pole přenosu – zabráněním šíření mikrobů udržováním čistého prostředí popř. pevnými zábranami, dezinfekcí vzduchu UV zářením, úpravou stěn vhodným povrchovým filmem. Jako nejvýhodnější a nejúčinnější způsob se ale jeví dostatečný přívod kvalitního čerstvého vzduchu.

3.2.5 Ionizační mikroklima

Ionizační mikroklima je složka prostředí tvořená toky ionizujícího záření, které produkuje radioaktivní látky. Radioaktivní látky mohou vnikat do budovy z vnějšího prostředí – radioaktivní popílek jako produkt tepelných elektráren, nevhodné stavební materiály atd. Nebo mohou být zdroje uvnitř – cigaretový kouř (obsahuje dceřiné prvky radonu), rentgenové přístroje a samozřejmě manipulace s radioaktivním materiálem [8].

Z hlediska větrání je nejvýznamnější radioaktivní látkou radon (^{222}Rn), který se přirozeně vyskytuje v některých lokalitách v zemské kůře. Do místností se dostává vzduchem a především špatně odizolovaným podlažím budov. Radon je bezbarvý, nezapáchající, nehořlavý, radioaktivní plyn, nepostřehnutelný lidskými smysly. Samotný radon je inertní (tj. neškodí zdraví). Nebezpečí ale představují jeho dceřiné prvky (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po a ^{220}Th), které se do atmosféry uvolňují při jeho rozpadu. Ty mají pevné skupenství a váží se k pevným a kapalným aerosolům, jejichž prostřednictvím se dostávají až do plic. Rozpady radioaktivních částic jsou doprovázeny emisí α záření (popř. β , γ) o vysoké energii, které může být příčinou vzniku rakoviny [2, str. 144]. Mezi nejcitlivější orgány vůči ionizačnímu záření patří kromě plic ještě štítná žláza, mléčné žlázy, žaludek a kostní dřeň [8].

Aktivita radioaktivní látky (počet samovolných jaderných přeměn za sekundu) se měří v becquerelech – Bq. Vztahem aktivity na jednotku objemu získáme měrnou objemovou aktivitu (měří se v Bq/m^3).

Limitní hodnoty ekvivalentní objemové aktivity radonu (EOAR) v interiéru jsou u nás [7]

- 200 Bq/m^3 vzduchu pro existující budovy
- 100 Bq/m^3 vzduchu pro nové budovy

Celosvětově uznávané jsou také limity měrné objemové koncentrace radonu stanovené podle USA normy ASHRAE z r.1981 (pozn. ASHRAE = americká společnost inženýrů vytápění, chlazení a klimatizací). Ta stanovuje hodnotu interiérové kontrolní úrovně radonu na 74 Bq/m^3 , která by neměla být v žádné místnosti překročena. Průměrná hodnota v domech je asi 68 Bq/m^3 a ve venkovním ovzduší zhruba 7-12 Bq/m^3 [7].

Optimalizace ionizačního mikroklimatu se provádí [8]

- zásahem do radioaktivního zdroje – volbou vhodného stavebního místa, omezením vnikání radonu do budovy (např. plynotěsná fólie pod základovou deskou) a vhodnou volbou stavebních materiálů
- zásahem do pole přenosu – omezením šíření radioaktivních látek v budově, větráním, filtrací vzduchu a elektrostatickou dispozicí. U větrání je nutné vytvoření tlakových spádů, přičemž nejvyšší podtlak by měl být v nekontaminovanějších místnostech. U filtrace nejsme schopni odfiltrovat přímo radioaktivní plyny. Využívá se metoda navázání radioaktivních látek na nějaký aerosol a následná filtrace aerosolu.

3.2.6 Akustické mikroklima

Akustické mikroklima tvoří zvukové vlny různých amplitud a kmitočtů, které se šíří pružným prostředím. Zvuk je každé mechanické vlnění v látkovém prostředí, které vyvolává v lidském uchu sluchový vjem [12].

Intenzita zvuku se měří v decibelech (dB) a určuje hladinu akustického tlaku L_p (hlasitost). Platí vztah [8]

$$L_p = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} \text{ (dB)} \quad (21)$$

kde p – efektivní akustický tlak (μPa)

p_0 – akustický tlak na prahu slyšení (pro vzduch $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$)

Zdrojem zvuku může být každé chvějící se těleso. Ve větrací technice jsou zdrojem ventilátory, kompresory, čerpadla a jiné [1, str. 35].

Každý nežádoucí zvuk se považuje za hluk. Co je pro někoho hlukem, může být pro jiného žádoucí. Bojem proti šíření hluku proto rozumíme především neúměrně silný hluk (20 dB – práh slyšitelnosti, 130 dB – práh bolestivosti). Hluk může negativně ovlivňovat lidský organizmus. Působí především na sluchový orgán, vegetativní nervový systém a dokonce i na psychiku člověka (podrážděnost, nespavost...) [1, str. 35,112]

„Hygienický limit v ekvivalentní hladině akustického tlaku A se stanoví pro hluk pronikající vzduchem zvenčí a pro hluk ze stavební činnosti uvnitř objektu součtem základní hladiny akustického tlaku A $L_{Aeq,T} = 40 \text{ dB}$ a korekcí přihlížejících ke druhu chráněného prostoru a denní a noční době podle přílohy č. 2 k tomuto nařízení,“ jak stojí v §10 nařízení vlády č.148/2006 Sb [10].

Optimalizace zvukového mikroklimatu se provádí [8]

- zásahem do zdroje hluku – izolace kryty nebo tlumiči
- zásahem do pole přenosu – instalací přepážek, pokrytí stěn speciálními akustickými materiály (pohlcujícími zvukové vlny), popřípadě eliminací hluku antihlukem (zvuková vlna s opačnou fází – vzájemně se vyruší)

4 Systémy větrání vhodné pro společenské sály (kina, divadla)

Pro společenské sály je typické, že se v nich shromažďuje velké množství osob obvykle po omezenou dobu. Lidé, osvětlení a další zařízení nutná pro provoz tvoří tepelnou zátěž místnosti a škodliviny. Hlavní funkcí větracích systémů je především zajistit dostatečný přívod čerstvého vzduchu a tepelnou pohodu.

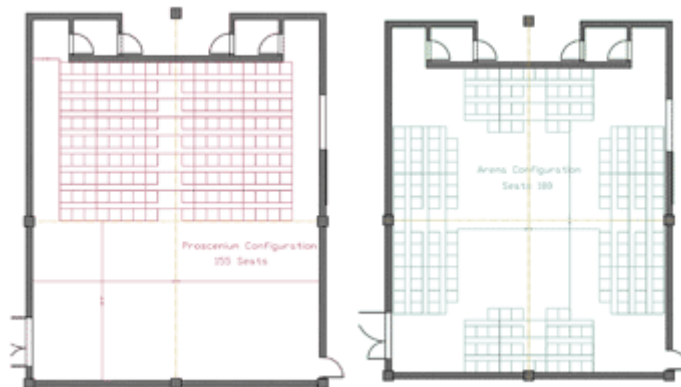
Společenské sály lze rozdělit do následujících kategorií, v nichž jsou větrací systémy dimenzovány podle konkrétních požadavků [13]

- *víceúčelové malé kulturní sály* – charakteristické jednoduchostí a účelností, proto většinou nezaručují kvalitu vnitřního prostředí. Odehrává se v nich pestrá škála kulturních akcí (koncerty, zábavy, plesy). Počet návštěvníků bývá obvykle do 200 osob. Obvykle jsou využívány v chladném období, proto se v nich často používají pouze vytápěcí zařízení (otopná tělesa, lokální topidla). Větrání bývá obvykle přirozené provětráváním okny, někdy se vzduch odvádí nuceně axiálními ventilátory s přetlakovými klapkami.
- *víceúčelové velké kulturní sály* – počet návštěvníků se může pohybovat až kolem 1000 osob. Proto je nutné počítat s odváděním vyprodukovaného tepla a kouře a počítat i s ostatními protipožárními opatřeními. Vytápění je obvykle řešeno podle umístění prostor v rámci budovy. V případě umístění uprostřed budovy není vytápění třeba, ale naopak se musí odvádět tepelné zisky z prostor sálu. V případě umístění prostor na fasádové straně je třeba budovu vytápět. Dotápění sálů popř. chlazení zde bývá řešeno centrálními vzduchotechnickými systémy. Distribuce vzduchu je řešena stabilizovaným přívodem proudu vzduchu do bytových zón a odsáváním v horních partiích sálu.
- *specializované kulturní objekty* – sem řadíme především divadla a kinosály. Oba objekty mají jediný účel – poskytnout návštěvníkům co nejlepší kulturní požitek. Prostory mají z hlediska techniky prostředí hodně společného, ale zároveň zde existují významné rozdíly:
 - *tepelné zisky od vnitřních zdrojů* – v divadlech se při projektování musí počítat se značnými tepelnými zisky z osvětlení. Proto je zde nutná větší výměna vzduchu.
 - *provoz divadel a kin* – v kinech bývá provoz nepřetržitý, obvykle 12-16 hodin denně. Provoz divadel bývá značně pružnější. Většinou se v nich odehrává jedno, max. 2 představení denně a kromě toho v nich probíhají i divadelní zkoušky. Další rozdíl představuje kapacita sálů. Zatímco kinosály bývají projektovány do kapacity 400 diváků, u divadel to může být až 1000 osob. Důvody jsou především ekonomické. Divadla mají značné náklady na platy herců. Vzhledem k nízké frekvenci představení, je proto nezbytné zvýšit kapacitu. Proto hlediště divadla disponují navíc lóžemi, balkóny a galeriemi.
 - *zázemí divadel a kin* – zázemí divadel bývá obvykle větší než u kin a to především o šatny, jeviště, sklady kulís a zkušebny. Z důvodu přestávek během představení, kdy se návštěvníci občerstvují, jsou také nutné větší foyery. V kině je možné se občerstvovat i během projekce.
- *speciální kulturní objekty* – patří sem např. výstavní sály, které jsou větrány především dle charakteru vystavovaných objektů. Např. u obrazů bývají specifické požadavky na vlhkost prostor. Do této kategorie řadíme i koncertní sály.

4.1 Větrání divadel

Větrání a klimatizace divadel je řešeno na základě specifických požadavků jednotlivých druhů divadel. Rozlišujeme [13]

- *divadla činoherní* – nejrozšířenější druh divadel. Hlavní sál může být uspořádán do kukátká (stupňovitá podlaha) nebo arénově (Obr. 5). Kukátková divadla (Obr. 6) převažují.
- *divadla operní a operetní* – oproti činoherním disponují orchestřištěm a zázemím pro orchestr. Sklady nástrojů je nutné klimatizovat.
- *divadla pro balet* – obdobná jak operní. Mají specifické požadavky na regulaci teploty jeviště kvůli účinkujícím vyvíjejícím fyzickou činnost
- *loutková divadla* – mají specifické nároky na teplotu. Teplota by měla být vyšší neboť herci mají omezené možnosti pohybu a diváky jsou především malé děti, které mají horší termoregulaci
- *speciální divadla* – malá divadla s malým souborem či speciální produkcí (divadlo jednoho herce,...). Obvykle mají malou výšku, což se negativně projevuje na teplotě v pobytové zóně.



Obr. 5 Kukátkové a arénové divadlo [http://www.uwsp.edu/theatre-dance/facilities/images]

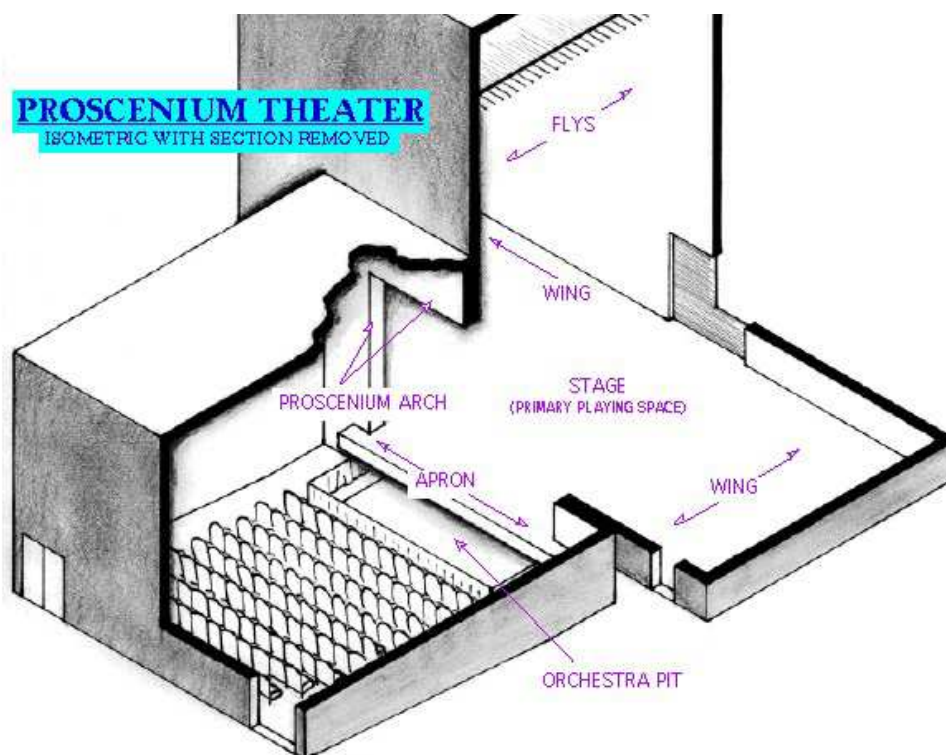
Při návrhu vzduchotechnického systému divadla je nejprve nutné podrobně se seznámit s jeho provozem a místními specifiky. Zázemí může podle druhu divadla sestávat z jeviště, orchestřiště, hlediště, diváckých prostor, zkušeben a dalších prostorů [13]

- a) *Jeviště* – vzhledem k výšce (15-25 m) a rozlehlosti je to prostor s obtížným zajišťováním optimálních mikroklimatických podmínek. Větrání navíc bývá ztěžováno neustálou změnou a přemísťováním kulis. Prostor jeviště bývá oddělen od hlediště proscéniovou zdí a soustavou opon, z nichž jedna bývá obvykle požární. Ta bývá někdy nahrazována vodní clonou.[13]

Hlavní tepelná zátěž jevištního prostoru je tvořena nasvícením jeviště. U velkých moderních divadel může příkon instalovaného osvětlení činit až 800kW. Z toho zhruba 60 % produkují světla instalované přímo na jevišti, zbytek je produkován světly v hledišti sloužícím k nasvícení jeviště zepředu. Další tepelné zisky moderních divadel tvoří elektromotory pohonů jevištní technologie.[13]

Se zohledněním předchozích informací se doporučuje přivádět čerstvý a cirkulační vzduch do herecké zóny tak, aby nebyl zpět stahován proud vzduchu stoupající k provazišti. Optimálním řešením je přívod vzduchu portálovými věžemi popř. přívod vzduchu pod první řadou osvětlovacích lávek. Jako nevhodné se jeví přívody vzduchu po stranách jeviště popř. ze zadního jeviště, z důvodu rozmístění kulis a jevištní technologie. Odsávání

cirkulujícího vzduchu by mělo být prováděno v prostorách provaziště, z důvodu zajištění maximálního teplotního rozdílu mezi přiváděným a odváděným vzduchem.[13]



Obr. 6 Schéma malého kukátkového divadla [<http://filmplus.org/04/pros.jpg>]

- b) *Orchestřiště* – přestože je orchestřiště vizuálně součástí divácké části, funkčně patří do jevištního prostoru. Představuje vanu oddělující orchestr od ostatního divadelního sálu. Teplota přiváděného vzduchu by měla přibližně odpovídat teplotě vzduchu v orchestřišti, což má zabránit lokálnímu podchlazení osob a nástrojů. Zejména strunné nástroje bývají náchylné na výkyvy teplot. Teploty v orchestřišti by měli být podobné jako v hledišti popř. o 1°C nižší z důvodu fyzické činnosti hudebníků. Nutné je též dodržovat požadavky na vyšší relativní vlhkost $55 \pm 5 \%$. [13]
- c) *Hlediště* – jde o prostor s těsnou vazbou na jeviště s velkou kumulací osob. Narozdíl od jeviště se hlediště nachází v několika výškových úrovních. Takže není možné v plné míře uplatnit princip maximálního rozdílu pracovních teplot mezi přiváděným a odváděným vzduchem. Přívod vzduchu do hlediště je řešen zónově. Je vhodné mít možnost regulace teploty vzduchu přiváděného do pateru, loží na balkony a na galerie a to nejen z hlediska tepelné pohody, ale i z hlediska provozních nákladů. Množství přiváděného vzduchu pro kina a divadla by mělo být dle německé normy DIN 1946/1983 minimálně 20 m³/h [11]. U divadel je ovšem nutno z důvodu větší tepelné zátěže přivádět větší množství vzduchu obvykle 45-60 m³/h, v závislosti na výšce prostor hlediště a místě odsávání. [13]

Odsávání by mělo být umístěno v nejvyšším místě hlediště. V případě rovného stropu se odsávání umísťuje v přední čtvrtině divadla z pohledu diváka tj. blízko technických lóží. Zde bývají umístěna osvětlení, takže značná část jejich tepelné produkce bývá odsávána přímo u zdroje. Větší množství vzduchu se obvykle přivádí na balkony a galerie. Vyústky pro přívod vzduchu bývají umístěny pod sedadly.[13] Aby byla zachována tepelná pohoda, v oblasti nohou by rychlost proudění neměla překročit 0,2 m/s a neměl by se přivádět ani příliš chladný vzduch [2].

- d) *Divácké prostory* – jedná se o prostory s nárazovým provozem. Jsou využívány především, před a po představení a během přestávek. Jejich teplota a větrání bývají řešeny zónově. Divácké prostory tvoří několik samostatných částí [13]
- o Bufet – měl by obsahovat zařízení pro odsávání tepla a pachů vznikajících provozem
 - o Šatny – zde obvykle funguje systém dvojího odsávání. Zvlášť je řešeno odsávání prostoru s oblečením a odvod tepla a kouře. Měla by být dodržena minimálně 5násobná výměna vzduchu
 - o Kužárna – prostor kužárny bývá nárazově zatěžován především o přestávkách. Měla by být dodržena 30-40násobná výměna vzduchu. Chod ventilátoru je možné vázat na čidlo cigaretového kouře, což může vést ke snížení provozních nákladů.
 - o Foyer – systém větrání by měl být mírně přetlakový aby se zamezilo vníkaní vzduchu z venkovního prostoru. Počet osob které se budou o přestávce nacházet ve foyer zhruba odpovídá počtu diváků v hledišti. Přestávky trvají cca 20 minut, proto se nepočítá s plnou tepelnou zátěží ale pouze redukovanou. Většinu nárazově vyprodukovaného tepla prostory pohltí. V případě konání rautů po představení je ovšem nutno prostory větrat sejně intenzivně jak hlediště.
- e) *Zkušebny* – pro zkušebny činoherní, baletní i zkušebny orchestru platí podobná doporučení jako pro jeviště.[13]
- f) *Herecké zázemí* – jde především o herecké šatny, denní místnosti pro herce, maskérny, kostymérny apod. Narozdíl od větrání běžných šaten se u hereckých klade důraz na dostatečné větrání, neboť v šatnách se obvykle pohybuje větší počet osob. Navíc většina herců jsou neukáznění kuřáci. Důležité je také odvádět zátěž tepla způsobenou osvětlením lícících stolků. [13]
- g) *Další prostory v divadelních budovách* – jde o prostory ředitelství divadla, pro které platí stejné požadavky jako na větrání kancelářských budov. Divadelní restaurace a kluby se řídí požadavky gastronomických provozů. [13]

4.2 Větrání kin

Kino je kulturním objektem značně závislým na technologiích. Jeho projektování vyžaduje vysokou profesionalitu a komplexní znalosti v mnoha oblastech. Velmi významné jsou především zvukové technologie kina, jejichž správný provoz značně umocňuje vizuální zážitek představení.[14]

4.2.1 Akustické mikroklima

Aby bylo dosaženo optimálního akustického mikroklimatu, musí být vyřešeny následující akustické problémy [14]

- *prostorová akustika* – jde především o dodržení hodnoty doby dozvuku (ozvěn) v prostoru hlediště v určitých přípustných mezích. Snahou je také zabránit vzniku stojatých vln. Narozdíl od divadel není v kině stěžejní energetické hledisko (hlas herce). Zde nehrozí že by divák v poslední řadě neslyšel.
- *hluk pozadí v hledišti kina* – dynamika zvuku se od prvních analogových zvukových formátů značně vyvinula. V současnosti dosahuje hodnot okolo 100 dB. Člověk je schopen uspokojivě vnímat zvuk, pokud je alespoň o 10 dB vyšší než hladina okolního rušivého hluku. Hlavními zdroji rušivého hluku jsou především zařízení vzduchotechniky, proto je nutné věnovat jejich hlukové produkci potřebné úsilí. Neměly by být překročeny maximální hodnoty hlukových křivek dle N 25 (N=NR – Noise rating). Můžeme se také setkat s hodnocením hluku dle křivek NC (Noise

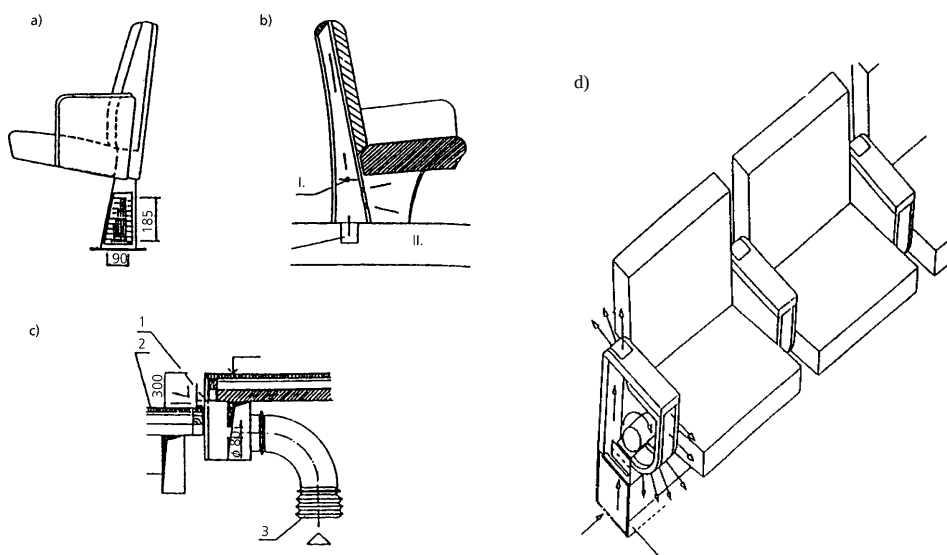
Criterion) původem z USA. Prakticky nejsou mezi křivkami N (NR) a NC významné rozdíly.

4.2.2 Větrání a distribuce vzduchu [14]

Pro dosažení tepelné pohody jsou v našich klimatických podmínkách instalována převážně větrací zařízení s možností filtrace, cirkulace a ohřevu pro zimní období. Chladicí zařízení provozují především moderní multikina (od 8 sálů). Jejich instalace ovšem vyžaduje poměrně náročné investice.

V letním období bývá využívána především filtrace, výjimečně (pokud to místní podmínky umožňují) se využívá chlazení např. zdroje podzemních vod přečerpávané do kanalizace. V zimním období je nejvýhodnější kombinovat klasické vytápění s teplovzdušným větráním s proměnným podílem cirkulace. Příklad-li do kina málo diváků, může být v hledišti zachována tepelná pohoda i bez nuceného větrání. Stačí tedy vyrovnávat tepelné ztráty klasickým vytápěním, což je méně nákladné, než teplovzdušné větrání. Stejně tak není třeba větrat při vytápění místnosti před příchodem diváků. V případě chodu teplovzdušného větrání je vhodné odpojit klasické vytápění. Teplovzdušný systém rychleji dokáže navodit podmínky tepelné pohody a nedochází k předimenzování tepelného zdroje. Při teplovzdušném větrání je vhodné využívat směšování s cirkulačním vzduchem. Zlepšuje se tím energetická i vlhkostní bilance.

Rozvody vzduchu v kinosálech lze řešit hned několika způsoby. Jako úspěšný se ukázal systém využívající tvaru stupňovité podlahy, který přivádí upravený vzduch v podstupnicích řad sedadel [14]. Prostor pod hledištěm funguje jako přetlaková komora. Jelikož směrem k zadním řadám výšky stupňů narůstají, je možné zásobit zadní řady větším průtokem čerstvého vzduchu bez obtěžujícího proudu o velké rychlosti. Výhodami toho distribučního systému jsou především jednoduchá realizace, nízké investiční náklady a příznivé vlivy na akustickou pohodu. Zvýšenou pozornost je ovšem potřeba věnovat úklidu podlahy. Modifikací uvedeného systému je místní přívod vzduchu do speciálních kinokřesel nebo do speciálně upravených podnoží kinokřesel (Obr. 7)



Obr. 7 Přívod upraveného vzduchu a) v noze, b) vzadní části opěradla, c) ve stupnicí podlahy, d) opěrkou křesla [1, str. 310]

Dalším úspěšným řešením distribuce je přívod vzduchu stropem s odvodem pod sedadly. Jelikož profil podlahy v podélném řezu je křivkový – stupně stejné šířky (1-1,4 m) a různých

výšek (0,15-0,34 m) – není snadné naprojektovat tento systém s ohledem na dosah proudu, rovnoměrnost provětrání, rychlost proudění atd. Lepších vlastností uvedeného systému lze dosáhnout použitím šikmých stropních přívodů vzhledem k podélné ose hlediště.

Za nevhodné lze označit systémy stěna-stěna, které jsou poměrně rozšířeny. Jejich hlavním nedostatkem je nízký podíl přiváděného vzduchu na aktivním provětrání zóny pobytu.

Při navrhování vzduchových rozvodů je třeba dbát zvýšenou pozornost proudění v prostoru mezi hledištěm a promítacím plátnem. Proudění vzduchu by zde mělo být velmi malé, aby nedocházelo k znehodnocení promítaného obrazu (efektem pozorovatelným u vzduchu nad rozpálenou silnicí). Další nepříznivý jev může vznikat přímo na promítacím plátně. Jelikož se promítací plátna vyrábí převážně z tenkých plastů, zasazených do pevných rámců, představují v podstatě velkou membránu. Nadměrným proděním vzduchu dochází k jejich rozvlnění.

Jak již bylo zmíněno v odst. 4.2.1, je třeba dbát zvýšenou pozornost na produkci hluku vzduchotechnickým zařízením. Častou příčinou hluku bývá „odstranění filtračních vložek bez náhrady“ [14], čímž dochází k zvýšení průtoku vzduchu celým vzduchotechnickým zařízením. Vzhledem k výkonu zvukového zařízení kina, může ovšem být hluk produkován i v již nepoužívaných potrubích vedených prostorem hlediště. Proto je nutné veškerá tato potrubí řádně izolovat.

4.2.3 Promítací kabina

Vzduchotechnika promítací kabiny představuje samostatný systém funkčně nezávislý na systému příslušného hlediště. V současnosti už nehrozí bezprostřední nebezpečí způsobené rozkladem vzduchu uvnitř Xe-výbojky doprovázené vznikem ozónu. [14]

Při dimenzování místnosti je nutné počítat především s tepelnou zátěží od promítacích zařízení řádově v jednotkách až desítkách kW. Ta bývá obvykle více než z 60 % odváděna přímo od promítacích zařízení do venkovního prostoru (obr. 8). Narozdíl od kinosálů, není možno vzduch od promítaček cirkulovat. Přívodní jednotka tedy pracuje pouze s čerstvým vzduchem. [15]

Dalším rozdílem od kinosálů je požadavek na kontrolu vlhkosti vzduchu, která by se měla pohybovat mezi 40 až 60 %. Nejsou zde také nárokovány požadavky na hladinu zvuku, neboť hladina zvuku generovaná promítacím zařízením se může pohybovat až kolem 70 dB [14]



Obr. 8 Promítací kabina kinosálu
[http://redakce.atlas.cz/edition_files/images/214/74419.JPG,
http://redakce.atlas.cz/edition_files/images/204/12921054.JPG]

4.3 Multikina

V posledních letech lze pozorovat pokles návštěvnosti klasických kin, ve prospěch multikin. Ta se stávají doplňky obchodních a nákupních center (např. Olympia centrum – Brno-Modřice). Multikina sestávají obvykle z 8-14 sálů, často rozdílných velikostí. Jejich výhodami oproti klasickým kinosálům jsou zejména větší komfort a novější technologie. Dále nabízejí větší výběr produkce a umožňují flexibilní přesuny programů mezi sály podle jejich návštěvnosti atd.

Základním prostorem multikina je vstupní hala, která obvykle sestává z prostoru pro prodej lístků, pultu rychlého občerstvení a baru. Samotné prostory multikin pak kromě vstupní haly tvoří vlastní prostory auditorií a promítací kabina (většinou jedna společná aby se ušetřili náklady za personál; větrání promítací kabiny je podrobněji probráno v kapitole 4.2.3) [15]

4.3.1 Auditoria [15]

Pro distribuci vzduchu se používá dvou základních systémů

- spodní přívod vzduchu kanály pod sedadly
- horní přívod vzduchu z podhledu nad diváky vířivými výustěmi – tento způsob převažuje



Obr. 9 Auditorium Multiplexu Village Cinemas Anděl v Praze 5

[http://firmy.villagecinemas.cz/village/andel_a3.jpg]

Při dimenzování tepelných zisků a ztrát se počítá se zisky (popř. ztrátami) pouze ze střechy auditorií (popř. ještě fasádní stěny sálu), protože auditoria bývají lokalizována uprostřed prostoru staveb. Vnitřními zdroji tepla jsou především přítomné osoby. Dimenzování výkonu vzduchového zřízení závisí na způsobu rozvodu vzduchu. Horní přívod, pak umožňuje o něco nižší teplotu přiváděného vzduchu. Přívod vzduchu horem je nutné patřičným způsobem nastavit, aby byl zajištěn jeho správný dosah. V případě plně obsazených kinosálů by bylo při celkové tepelné produkci návštěvníků nutné chladit i v zimním období. Skutečná návštěvnost se však pohybuje mezi 20-30 %, takže je třeba v zimním období spíše dotápět.

Pro hlučnost kinosálů platí stejné podmínky jako u klasických kin. Musí zde ale být navíc provedena opatření zajišťující neprostupnost zvuku stavebními konstrukcemi (min.100 dB) mezi sousedními sály.

Odběry tepla multikinem bývají řešeny v rámci celého obchodního a kulturního objektu. Chlazení si obvykle provozovatel multikina zajišťuje samostatně. Ovšem existuje i možnost (zvláště pak v blízkosti center velkých měst) zajišťovat chlazení centrálně. Rozhodující bývají náklady na energii podle vzdálenosti zdroje, tepelných ztrát atd.. Samostatně provozované chladicí systémy přednostně využívají zdrojů chladu s přímým odparem chladiva přes centrální výrobu chladu. Chladicí zařízení umístěné na střeše totiž vyžaduje použití nemrznoucí směsi, která je nákladná z hlediska ekologického zabezpečení úniku.

Vzduchotechnické jednotky jsou vybaveny jednootáčkovým přívodním i odvodním ventilátorem. Jednotky bývají kromě dalších protihlukových zařízení vybaveny klapkovými sekcemi pro směšování čerstvého a cirkulačního vzduchu. Potrubí bývá ke klimatickým jednotkám připojeno dilatačními vložkami. Distribuční prvky by měli být navrženy tak, aby rychlost proudění vzduchu v místě diváka nepřekročila 0,15 m/s. Ideálním řešením jsou anemostaty s vířivým výstupem vzduchu. Ovládání zařízení jednotlivých kinosálů se doporučuje umístit do technických chodeb



Obr. 10 Vzduchotechnika multikina UCI Praha-Letňany
[http://www.dap-provmex.cz/img/rl-UCI_Praha-02.jpg]

4.3.2 Vstupní hala multikina

Za dostatečný přívod čerstvého vzduchu ve vstupní hale (Obr. 11) se považuje 30 m³/h na osobu, při předpokládané koncentraci 1 os/m². Značná světlá výška haly (až 5 m) pak eliminuje případné tepelné zisky či ztráty. Provoz vstupní haly je celodenní proto je výhodné využít zařízení pro zpětné získávání tepla. Pro vytápění prostoru před začátkem provozu je vhodné systém vybavit i možností cirkulace. V případě nevyužití rekuperačního zařízení je nutné odsávat znečištěný vzduch v prostoru přípravy občerstvení (hlavně popcornu). [15]

K distribuci vzduchu se vzhledem k velké výšce haly využívají převážně velkoplošné vyústi. Ty při vhodném rozmístění v prostoru, účinně zaplavují proudem vzduchu prostory haly. Vzduch by měl být zvláště přiváděn do prostor, které fungují jako stálá pracoviště. V případě proudění vzduchu zdola nahoru je možné eliminovat tepelnou zátěž od osvětlení. Při přívodu shora se musí počítat s tepelným ziskem 80 W/m². Pro odstranění nežádoucích tepelných ztrát v zimních měsících v prostoru hlavního vstupu je doporučeno využívat teplovzdušnou clonu. Ta zabraňuje infiltraci studeného vzduchu. [15]



Obr. 11 Vstupní hala multikina [<http://firmy.villagecinemas.cz/village/most-20.jpg>]

5 Závěr

V průběhu času jsou kladeny neustále nové nároky na větrání společenských místností. Česká legislativa určuje základní hygienické požadavky na teplotu, rychlost proudění a relativní vlhkost vzduchu. Jejich limitní hodnoty pro společenské místnosti jsou spolu s akustickými požadavky shrnuty v tabulce 2.

Tab. 2 [6]

Kritérium	období roku	
	teplé	chladné
Operativní teplota t_g	$24 \pm 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$	$22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$
Rychlost proudění vzduchu	$0,16 - 0,25 \text{ m.s}^{-1}$	$0,13 - 0,20 \text{ m.s}^{-1}$
Relativní vlhkost vzduchu	nejvýše 65 %	nejméně 30%
Hladina akustického tlaku [13]	30 – 35 dB	

Dále jsou ve vyhlášce č. 6/2003 Sb. [6] stanoveny limitní koncentrace škodlivin chemických ukazatelů a prachu. Není zde ovšem uvedena nejvýznamnější škodlivina CO_2 (oxid uhličitý), který lidé produkují dýcháním. Vyjdeme proto z německé normy DIN 1946/1983, která doporučuje do společenských sálů přivádět minimálně $20 \text{ m}^3/\text{h}$ čerstvého vzduchu na osobu [11].

Volba větracích systémů pro společenské sály souvisí s účelem a stářím objektu, jeho velikostí, tepelnou zátěží atd.. Důležitou roli z hlediska provozovatele sehrávají také pořizovací a provozní náklady. Snahou tedy je zajistit přijatelné podmínky pro pobyt při co nejnižších nákladech.

Větrací systémy obecně dělíme na přirozené, nucené a kombinované. Systémy přirozeného větrání jsou pro celoroční provoz větších společenských sálů nedostačující. Ovšem u některých starších společenských sálů s menší kapacitou (obvykle sály na vesnicích) se vzhledem k nulovým provozním nákladům stále používají. Ve velkých městech je obvykle kvůli prašnosti a smogu nutné přiváděný vzduch filtrovat. Také proto naprostá většina moderních společenských sálů využívá systémy nuceného větrání, které narozdíl od přirozeného větrání umožňují úpravu přiváděného vzduchu. Běžně se do nich instalují kromě filtrů i např. cirkulační a topné jednotky. Teplovzdušné větrání je z ekonomických důvodů vhodné kombinovat s klasickým vytápěním prostor. Cirkulační jednotky umožňují regulovat množství oběhového vzduchu což také značně snižuje provozní náklady. V některých případech se vyplatí investovat i do chladicí nebo rekuperační jednotky.

Větrání kin a divadel má mnoho společných rysů. Zásadní rozdíly vyplývají především z tepelných zisků od vnitřních zdrojů a z provozu prostor. U divadel je produkce tepla navýšena vlivem osvětlení. Divadlo navíc disponuje větším zázemím a většími sály (kina do 400 osob, divadla až 1000) [13]. U kina zase existují významné požadavky na akustiku. Těmto požadavkům odpovídá i volba vhodných systémů nuceného větrání, zajišťujících dostatečný přísun čerstvého vzduchu a tepla při nízké hlučnosti.

V posledních letech jsou klasická kina vytlačována multikiny, které se stávají součástí velkých obchodních a zábavních center. Jejich větrání je proto věnována samostatná subkapitola.

6 Použité zdroje

- [1] SZÉKYOVÁ, Marta, FERSTL, Karol, NOVÝ, Richard. *Větrání a klimatizace*. 1. vyd. Bratislava : JAGA GROUP, s.r.o., 2006. 360 s. ISBN 80-8076-037-3.
- [2] CHYSKÝ, Jaroslav, HEMZAL, Karel, et al. *Větrání a klimatizace*. 3. přepracované vyd. Brno : BOLIT, 1993. 560 s., Opravy a dodatky. ISBN 80-901574-0-8.
- [3] SMOLÍK, Jan, et al. *Technika prostředí*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1970. 324 s.
- [4] MATHAUSEROVÁ, Zuzana. *Kvalita vnitřního prostředí v našich předpisech - mikroklima* [online]. 18.4.2005. 2001-2008 [cit. 2008-05-05]. Text v češtině. Dostupný z WWW: <<http://vetrani.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2470&h=7&pl=47>>. ISSN 1801-4399.
- [5] § 13 odst. 1 zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a změně některých souvisejících zákonů
- [6] Vyhláška č. 6/2003 Sb. ze dne 16. prosince 2002, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb
- [7] Větrací jednotky, rekuperace tepla - Úvod. *Atrea CD* [CD-ROM]. 2007 [cit. 2008-04-25].
- [8] *Tepelná pohoda* [online]. HEAT, 1999-2008 , 20.11.2007 [cit. 2008-05-05]. České vysoké učení technické. Fakulta elektrotechnická. Katedra elektroenergetiky. Text v češtině. Dostupný z WWW: <http://www.powerwiki.cz/wiki/Tuma2#section-Tuma2-3.1.TEPELN_C4_9AVLHKOSTN_C3_8DMIKROKLIMA>.
- [9] Diderot. *Encyklopedie diderot 3. svazek : Všeobecná encyklopedie ve čtyřech svazcích*. [s.l.] : Dům OP, 1997. 4 sv. (787, 700, 740, 716 s.). ISBN 80-85841-35-5.
- [10] Nařízení vlády č. 148/2006 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- [11] HORN, Matěj. *Svaz chladicí a klimatizační techniky : 3. Větrání* [online]. 2008 , 28.11.2005 [cit. 2008-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://schkt.tradecentrum.cz/index.php?cmd=item&id=81&menuID=152>>.
- [12] Diderot. *Encyklopedie diderot 4. svazek : Všeobecná encyklopedie ve čtyřech svazcích*. [s.l.] : Dům OP, 1997. 4 sv. (787, 700, 740, 716 s.). ISBN 80-85841-37-1.
- [13] PETLACH, Jiří. Projektování zařízení techniky prostředí v kulturních objektech : 1. část. In *Větrání, vytápění, instalace*. [s.l.] : [s.n.], 2007. s. 192. ISSN 1210-1389.
- [14] SMRŽ, Vladimír. Kina z pohledu techniky prostředí. In *Větrání, vytápění, instalace*. [s.l.] : [s.n.], 2007. s. 267. ISSN 1210-1389.
- [15] PETLACH, Jiří. Projektování zařízení techniky prostředí v kulturních objektech : 2. část. In *Větrání, vytápění, instalace*. [s.l.] : [s.n.], 2007. s. 267. ISSN 1210-1389.
- [16] BOLDIŠ, Petr. *Bibliografické citace dokumentu podle ČSN ISO 690 a ČSN. ISO 690-2: Část 1 – Citace: metodika a obecná pravidla*. Verze 3.3. c 1999–2004, poslední aktualizace 11.11. 2004. URL: <<http://www.boldis.cz/citace/citace1.pdf>>.
- [17] *Projekt bibliografické citace : dle normy ČSN ISO 690 a ČSN ISO 690-2* [online]. 2004-2008 [cit. 2008-05-16]. Dostupný z WWW: <www.citace.com>.

7 Použitá označení

A	– aerodynamický součinitel větru, součinitel poměrné tepelné pohltivosti oděvu (-)
b	– šířka okna (m)
B	– teplotní součinitel (-)
c	– měrná tepelná kapacita vzduchu = 1,01 kJ/(kg.K)
g	– tíhové zrychlení (m/s^2)
h	– výška, výška okna, výška šachty (m)
i	– součinitel provzdušnění spár ($\text{m}^2\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-0,67}$)
k	– koncentrace CO_2 ve volné atmosféře (-)
k_d	– koncentrace CO_2 ve vydechovaném vzduchu (-)
l	– délka spár (m)
$\dot{M}, \dot{M}_p$	– hmotnostní průtok přiváděného vzduchu (kg/s)
$\dot{M}_c$	– hmotnostní průtok cirkulujícího vzduchu (kg/s)
$\dot{M}_e$	– hmotnostní tok venkovního vzduchu (kg/s)
p	– tlak (Pa), efektivní akustický tlak (μPa)
p_a, p_e	– vnější (atmosférický) tlak (Pa)
p_i	– vnitřní statický tlak (Pa)
p_0	– akustický tlak na prahu slyšení (kPa)
$\dot{q}_m$	– měrné metabolické teplo (W/m^2)
$\dot{q}_r$	– hustota tepelného sálavého toku (W/m^2)
R, R_{CL}	– tepelný odpor oděvu ($(\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{W}$)
$\dot{q}_w$	– měrný tepelný tok z těla vypařovaným potem (W/m^2)
$\dot{Q}$	– tepelný tok (W)
$\dot{Q}_{in}$	– vnitřní tepelná zátěž (W)
$\dot{Q}_{ext}$	– vnější tepelná zátěž (W)
t_a	– teplota vzduchu ($^{\circ}\text{C}$)
t_{ext}	– teplota přiváděného vzduchu ($^{\circ}\text{C}$)
t_g	– teplotou kulového teploměru ($^{\circ}\text{C}$).
t_i	– teplota okolního vzduchu ($^{\circ}\text{C}$)
t_k	– střední teplota pokožky ($^{\circ}\text{C}$)
t_o	– teplota odváděného vzduchu ($^{\circ}\text{C}$)
t_{po}	– teplota vzduchu v pracovní oblasti ($^{\circ}\text{C}$)
t_p	– povrchová teplota oděvu ($^{\circ}\text{C}$)
t_r	– střední radiační teplota okolních ploch ($^{\circ}\text{C}$)
$\bar{t}_s$	– střední teplota pokožky ($^{\circ}\text{C}$)
$\dot{V}$	– objemový průtok (m^3/s)
w	– rychlost proudění vzduchu (m/s)
$\dot{Q}_a$	– tepelný tok akumulovaný v těle (W)
$\dot{Q}_d$	– tepelný tok sáláním (W)
$\dot{Q}_k$	– tepelný tok prouděním (W)
$\dot{Q}_{kd}$	– tepelný tok vedením (W)
$\dot{Q}_s$	– tepelný tok odváděný dýcháním (W)
$\dot{Q}_{vypr}$	– vnitřní tepelná produkce lidského těla

$\dot{Q}_w$ – tepelný tok odváděný vypařováním (W)
 $\dot{Q}_{ztra}$ – ztrátový tepelný tok (W)

α_K – součinitel přestupu tepla konvekcí (-)
 α_r – součinitel přestupu tepla radiací (-)
 Δ – konečný rozdíl dvou hodnot
 ε – součinitel větrací rovnováhy (-)
 λ – součinitel tření (-)
 μ – průtokový součinitel (-)
 ζ – ztrátové součinitele (-)
 ρ_i – hustota vnitřního vzduchu (kg/m³)
 ρ_e – hustota vnějšího vzduchu (kg/m³)
 ρ_e – hustota vzduchu (kg/m³)
 φ – relativní vlhkost vzduchu (%)