

1. Požadavky na větrání budov

Větráním místnosti rozumíme zajišťování přívodu vzduchu, nejčastěji venkovního vzduchu, který obsahuje zanedbatelné nebo nižší koncentrace škodliviny, než jaké jsou produkovány v místnosti.

Zjednodušeně platí, že pro stanovení parametry větracího zařízení je nutné znát nebo si určit některé parametry, jako jsou:

- produkce škodlivin v místnosti
- přípustná koncentrace škodlivin v místnosti
- stanovení objemového průtoku větracího vzduchu

1.1 Produkce škodlivin

Zjednodušeně můžeme vznik škodlivin v místnosti rozdělit podle zdroje škodlivin na produkci:

- **od osoby podle její činnosti se produkuje:**
 - množství tepla (90 až 300 W)
 - vodní pára (40 až 400 g/h)
 - oxid uhličitý (20 až 50 l/h)
 - oděry
- **od technologie, zařízení, spotřebičů vznikají:**
 - chemické látky
 - teplo (spotřebiče, motory, kotle, svítidla)
 - pára
 - spaliny
 - prach
- **od stavební konstrukce se může do místnosti produkovat např.:**
 - vlhkost

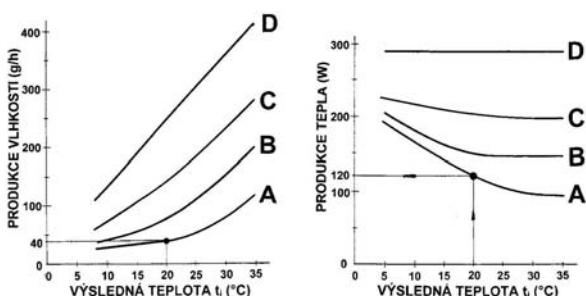
Jednotlivé osoby produkují do místnosti škodliviny v závislosti na jejich aktivitě, tj. velikosti předaného metabolického tepla, ale také na tepelně vlhkostních podmínkách v místnosti.

Člověk produkuje do místnosti podle své činnosti množství škodlivin, měřené nejčastěji ve srovnatelném čase, obvykle během jedné hodiny.

Zjednodušeně si můžeme produkci tepla a vlhkosti od člověka zobrazit na obr. 1, kde je vyjádřena produkce tepla a vlhkosti v závislosti na výsledné teplotě t_i v místnosti.

Diagram vyjadřuje čtyři stupně stavu činnosti člověka:

- **křivka A** – člověk v klidu
- **křivka B** – člověk při malé aktivitě (lehká činnost)
- **křivka C** – člověk při zvýšené aktivitě (středně těžká práce)
- **křivka D** – člověk při mimořádně fyzicky namáhavé činnosti (těžká práce)



Obr. 1 – Závislost produkce tepla a vlhkosti od člověka na výsledné teplotě místnosti t_i

Křivka: A – člověk v klidu, B – při malé aktivitě, C – při zvýšené aktivitě, D – při mimořádně namáhavé činnosti

Z diagramu na obr. 1 je patrné, že produkce tepla člověkem do prostoru místnosti se zvyšuje při:

- vyšší aktivitě člověka
- nižší výsledné teplotě místnosti

1.2 Objemový průtok větracího vzduchu

Požadované množství vzduchu na větrání je označované jako objemový průtok \dot{V}_p a představuje přiváděný

objem venkovního vzduchu za dobu 1 hodiny.

Objemový průtok vzduchu se stanovuje nejčastěji podle produkce škodlivin v místnosti z úrovně koncentrace čerstvého venkovního vzduchu. Celkový objemový průtok se však může také stanovit ze směrných objemových průtoků vzduchu, vztažených na jednotku zdroje škodlivin, např. na osobu nebo zařízení nebo pouze z objemu místnosti, podle jejího účelu.

Objemový průtok přiváděného vzduchu \dot{V}_p na větrání místnosti se např. stanoví:

- z obecného vyjádření pro koncentraci škodlivin v ovzduší podle vztahu

$$\dot{V}_p = \frac{m_i}{\psi_k - \psi_e} \text{ (m}^3\text{/h)}$$

kde je: m_i – koncentrace škodlivin v místnosti (mg/h)

ψ_k – přípustná koncentrace škodlivin v místnosti (mg/m³)

ψ_e – koncentrace škodlivin v přiváděném vzduchu (mg/m³)

- z odvodu produkce tepla (tepelné zátěže) z místnosti podle vztahu

$$\dot{V}_p = \frac{Q_p}{c \cdot (t_i - t_e)} \text{ (m}^3\text{/h)}$$

kde je: Q_p – produkce tepla v místnosti (W)

c – měrná tepelná kapacita vzduchu (0,36Wh/(m³·K))

t_e – teplota venkovního vzduchu (°C)

t_i – teplota vzduchu v místnosti (°C)

- podle doporučené intenzity výměny vzduchu ze vztahu

$$\dot{V}_p = n \cdot V \text{ (m}^3\text{/h)}$$

kde je: V – vzduchový objem místnosti (m³)

n – doporučená intenzita výměny vzduchu (h⁻¹)

- podle požadovaného měrného objemového průtoku vzduchu na osobu a podle počtu osob ze vztahu

$$\dot{V}_p = o \cdot \dot{V}_o \text{ (m}^3/\text{h)}$$

kde je: o – počet osob v místnosti (-)

\dot{V}_o – objemový průtok vzduchu podle předepsané intenzity větrání na osobu (m³/h)

- z odvodu vlhkosti produkované v místnosti podle vztahu

$$\dot{V}_p = \frac{G}{\rho \cdot (x_i - x_e)} \text{ (m}^3/\text{h)}$$

kde je: G – produkce vlhkosti ve větrané místnosti (g/h)

x_i – měrná vlhkost vzduchu v místnosti (g/kg_{sv})

x_e – měrná vlhkost vzduchu přiváděného z venkovního prostoru (g/kg_{sv})

ρ – hustota vzduchu (kg/m³)

Energetických úspor při větrání může být také dosaženo redukcí objemového průtoku, např.:

- snížením požadavku na potřebu vzduchu, např. vhodným tvarem místnosti
- snížením požadovaného průtoku vhodnou volbou místa přívodu čerstvého vzduchu

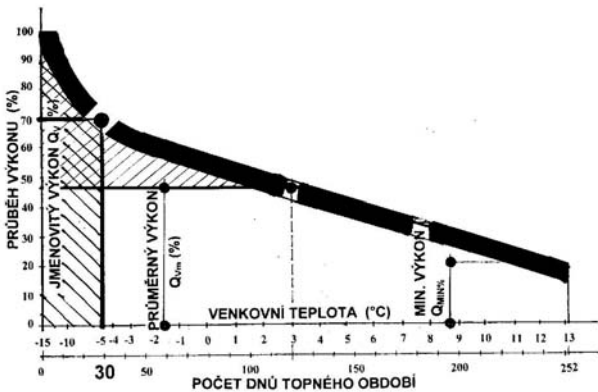
1.3 Tepelná bilance

Přiváděný venkovní vzduch na větrání s teplotou t_e se musí ohřát nejméně na teplotu vzduchu v místnosti t_i . Množství tepla potřebné na ohřátí větracího vzduchu se stanovuje nejčastěji v čase jedné hodiny a za topné období. Množství tepla, potřebné na ohřátí objemového průtoku větracího vzduchu \dot{V}_p (m³/h), se nazývá tepelný výkon nebo též tepelná ztráta na větrání a stanoví se ze vztahu:

$$Q_v = \dot{V}_p \cdot c \cdot (t_i - t_e) \quad (\text{W})$$

kde je: \dot{V}_p – objemový průtok vzduchu na větrání (m^3/h)
 $c = 0,36$ ($0,34$) – měrná tepelná kapacita
 vzduchu při teplotě $0\text{ }^\circ\text{C}$
 (při teplotě $15\text{ }^\circ\text{C}$) ($\text{Wh}/\text{m}^3\text{K}$)

Výkon na ohřátí větracího vzduchu se stanovuje nejčastěji pro výpočtovou venkovní teplotu v dané oblasti, např. $t_e = -15\text{ }^\circ\text{C}$. Určuje se tak nejvyšší výkon ohříváče vzduchu, označovaný jako jmenovitý výkon Q_v .



Obr. 2 – Průběh výkonu při rovnoměrné intenzitě větrání během topného období s vyznačením průměrné hodnoty výkonu a hodnoty minimálního výkonu

Průběh tepelného výkonu v topném období se mění tak, jak se mění venkovní teplota. Je-li topné období, např. s venkovními teplotami v rozmezí od $-15\text{ }^\circ\text{C}$ do $+13\text{ }^\circ\text{C}$ v trvání 250 dnů, tj. 6 000 h, pak můžeme stanovit přibližně podle obr. 2 ze jmenovitého výkonu (Q_v):

- průměrný výkon v topném období podle vztahu

$$Q_{v,m} = Q_v \cdot 0,472 \quad (\text{W})$$

- nejmenší výkon v topném období (při $t_e = +13\text{ °C}$) podle vztahu

$$Q_{vmin} = 0,2 Q_v \text{ (W)}$$

Při celoroční rovnoměrné intenzitě větrání lze roční potřebu tepla Q_{vr} stanovit přibližně ze jmenovitého výkonu Q_v podle vztahu:

$$Q_{vr} = Q_v \cdot 0,472 \cdot 6000 \text{ (Wh/rok)}$$

Vztah pro roční spotřebu tepla platí pro rovnoměrné a plné celodenní větrání během topného období. Při rovnoměrném větrání v trvání, např. osmihodinové směny během dne, bude v topném období větráno po dobu 2 000 hodin.

Z diagramu průběhu výkonu v topném období je rovněž patrné, že vyššího výkonu než $0,7 Q_v$ je dosaženo při teplotách nižších než $t_e = -5\text{ °C}$. Je to tedy v krátkém období 30 dnů z celé topné sezóny, která trvá 250 dnů. Toto období zahrnuje asi 20 % z celkové roční spotřeby tepla na ohřátí vzduchu. Někdy se neoprávněně na toto období vztahuje pozornost pro vytváření energetických úspor při větrání, resp. se stává toto období i referenčním pro vyhodnocování energetických úspor.

1.4 Změna režimu větrání

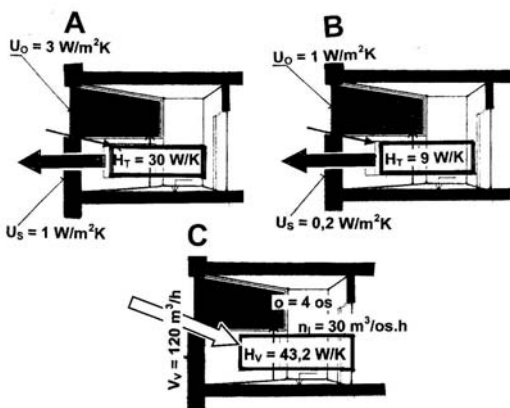
Zvýšenými náklady na ohřívání větracího vzduchu se věnuje pozornost i racionalizaci větrání podle toho, jak je větraný prostor provozován. Většinou jsou místnosti, resp. budovy provozovány s proměnným režimem větrání. Tím se mění intenzita větrání a následně se mění i velikost přiváděného objemového průtoku vzduchu. Hrubý odhad objemového průtoku vzduchu na větrání podle násobnosti výměny vzduchového prostoru se stává spíše orientačním ukazatelem než projekčním podkladem pro návrh větracího zařízení.

1.5 Větrání a prostup tepla

Poměr mezi tepelnou ztrátou prostupem tepla a tepelnou ztrátou na větrání se za poslední desetiletí značně změnil. V příkladu na obr. 3 je naznačeno jak zvýšením tepelného odporu obvodové konstrukce poklesla měrná tepelná ztráta z prostupu tepla $H_T = 30 \text{ W/K}$ u původních konstrukcí na $H_T = 9 \text{ W/K}$ u současných konstrukcí obvodového pláště.

Naproti tomu měrná tepelná ztráta na větrání místnosti (např. pro 4 osoby s výměnou $n_1 = 30 \text{ m}^3/\text{h.os}$) vychází $43,2 \text{ W/K}$ a zůstává stejná. Současně je tendence zvyšovat nároky na hygienický komfort a tím může být podíl tepelné ztráty z větrání vyšší.

Pro energetickou náročnost budovy není tedy dnes rozhodujícím parametrem prostup tepla ochlazovaným pláštěm, ale množství tepla, které je potřebné na ohřívání vzduchu pro větrání budovy.



Obr. 3 – Příklad měrné tepelné ztráty u místnosti

A – při prostupu tepla původní konstrukcí obvodového pláště, B – při prostupu tepla obvodovou konstrukcí podle současných parametrů tepelného odporu, C – při větrání

1.6 Teplota větracího přiváděného vzduchu

Vzduch přiváděný pro větrání budovy se ohřívá z venkovní teploty na:

- teplotu odpovídající teplotě tepelné pohody v místnosti v případě, že v místnosti je otopná plocha, sloužící pro pokrytí tepelné ztráty prostupem tepla
- vyšší teplotu než je teplota tepelné pohody v místnosti v případě, že ohřátý vzduch je jediným zdrojem tepla pro místnost a teplo obsažené ve větracím vzduchu slouží zároveň i pro pokrytí tepelné ztráty prostupem

1.7 Vliv objemu místnosti na větrání

Řada prostorů se podle účelu provozuje přerušovaně s vyšší produkcí škodliviny v omezeném časovém úseku. Objemový průtok přiváděného vzduchu \dot{V}_p musí být takový, aby ve větraném prostoru bylo zachováno ovzduší s přijatelnou, předpisy stanovenou, koncentrací Ψ_u .

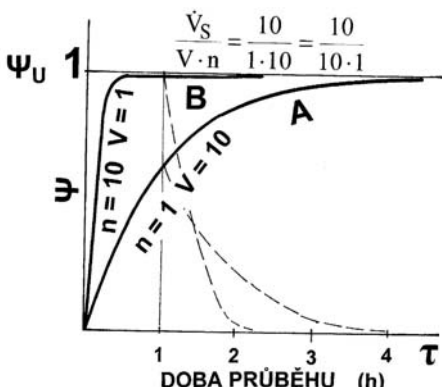
Na obr. 4 je časový průběh koncentrace škodliviny v místnosti, který závisí na produkci škodliviny, objemu místnosti V a násobnosti výměny vzduchu v místnosti n .

V náběhovém stavu do doby ustálení koncentrace škodlivin v místnosti rozhoduje o průběhu koncentrace velikost objemu místnosti V .

Na obr. 4, na demonstračním příkladu narůstání koncentrace v čase τ , je patrné, že pro stejný průtok vzduchu $\dot{V}_p = V \cdot n = 10 \text{ m}^3/\text{h}$ vychází:

- při velkém objemu místnosti ($V = 10 \text{ m}^3/\text{h}$) a při malé výměně vzduchu ($n = 1 \text{ l/h}$) je dosaženo ustálené koncentrace Ψ_u přibližně v čase $\tau = 4 \text{ h}$ – křivka A
- při malém objemu místnosti ($V = 1 \text{ m}^3/\text{h}$) a při velké výměně vzduchu ($n = 10 \text{ m}^3/\text{h}$) je dosaženo ustálené koncentrace Ψ_u přibližně již za $\tau = 0,5 \text{ h}$ – křivka B

Větší objem místnosti v časově krátkém úseku pro produkci škodlivin, při stejném objemovém průtoku větracího vzduchu \dot{V}_p podstatně snižuje koncentraci škodlivin v místnosti oproti malému objemu místnosti, i když je násobnost výměny vysoká.



Obr. 4 – Příklad časového průběhu koncentrace škodlivin z proměnných hodnot objemu a výměny vzduchu

Křivka A – výměna vzduchu $n = 1$ l/h a objem $V = 10$ m³/h, Křivka B – výměna vzduchu $n = 10$ l/h a objem $V = 1$ m³/h

Obecně tedy platí, že při větším objemu větraného prostoru se může, při náběhovém stavu, snížit objemový průtok vzduchu \dot{V}_p a uspořit energie na jeho ohřátí. Podle účelu místnosti, doby provozu a způsobu produkce škodlivin lze při větrání uvažovat s náběhovým stavem v prostorách:

- s časově omezeným provozem, např. shromažďovací prostory občanských budov, sály divadel, kin, v prostorách pro kulturu a společenské akce, komunikační prostory, foyer a prostory pro tělovýchovu
- s časově krátkým, resp. nepravidelným provozem při intenzivní produkci škodliviny, např. odérů, jako jsou např. hromadná WC, místnosti s produkcí pár v lázních, kuchyně apod.

- prostory se spotřebiči, u nichž je možná krátkodobá produkce spalin do prostoru, při náběhu spotřebiče

1.8 Vliv výšky a tvaru místnosti

Při větší produkci škodlivin má mít prostor nejen odpovídající objem, ale i přiměřenou světlou výšku. Škodlivina se většinou šíří místností podle proudění vzduchu a to se vytváří na základě tlakových rozdílů. Škodliviny, které se nejčastěji v místnosti vyskytují mají nižší hustotu než je hustota přiváděného čerstvého vzduchu do místnosti. V koncentraci se vzduchem mají zcela přirozenou tendenci stoupat ve vzduchovém prostoru pod strop. Ke škodlivinám, které je třeba z místnosti odvést a které mají nižší hustotu než je hustota vzduchu, patří produkce:

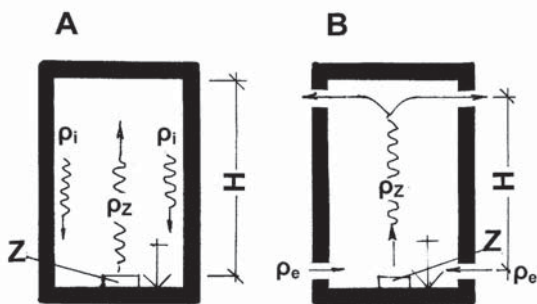
- tepla od osob, technologie, zařízení od spotřebičů nebo z tepelných zdrojů a z tepelných zisků od slunce
- vlhkosti od osob, z vodních ploch, od zařízení ze spalin apod.
- vodní páry od technologie, z vaření, umývání, sprchování apod.
- spalin jako produktu spalování u otevřených spotřebičů, např. spotřebičů v provedení A

U všech těchto škodlivin je společným znakem nižší hustota v důsledku vyšší teploty nebo většího obsahu vlhkosti než je hustota vzduchu v místnosti. Při koncentraci škodlivin do vzduchu, který má teplotu nižší nebo při koncentraci vlhkosti do vzduchu, který je sušší, dochází bez vlivu přiváděného vzduchu z venkovního prostoru ke vztlaku vzduchu, koncentrovaného škodlivinami. Působením vztlaku dochází k přirozené konvekci teplejšího a vlhčího vzduchu stoupáním ke stropu místnosti.

Tento příznivý účinek proudění vzduchu s koncentrací škodlivin nastává, i když působí v místnosti nucené větrání.

Příspěvek k rychlosti stoupajícího vzduchu můžeme zvětšením světlé výšky místnosti. Přírozené proudění vzduchu – vnitřní konvekce – je schematicky naznačeno na obr. 5. Při vnitřní konvekci podle obr. 5A dochází ke stoupání proudu vzduchu nad místem produkce škodlivin směrem ke stropní konstrukci. Současně může docházet ke klesání vzduchu v místech, kde škodliviny nevznikají. Dost často je to podél obvodového pláště, který může zároveň v zimních měsících ochlazovat klesající vzduch od nízké povrchové teploty. Schéma vnitřní aerace v halovém prostoru je na obr. 5A.

Přiváděný větrací vzduch z venkovního prostoru je nejčastěji zajišťován u obvodové stěny. Při klasickém přirozeném větrání je to velmi často přívod infiltrací od oken. Má-li vzduch hustotu vyšší než je vzduch v místnosti a podstatně vyšší než je vzduch s koncentrací škodlivin, vytváří se přirozeně proudění přívodního vzduchu k podlaze místnosti do pobytové zóny. Schéma přirozené aerace s přívodem vzduchu do místnosti je naznačena na obr. 5B.



Obr. 5 – Příklad proudění škodlivin s hustotou nižší než je hustota vzduchu

A – vnitřní aerace, B – aerace s větráním venkovním vzduchem

V místnostech s vysokým tepelným ziskem, např. od slunce, způsobené vyšším prosklením fasády nebo střechy, se vytváří tepelná nepohoda. V případě nižší výšky místnosti zůstává teplo rovnoměrně rozložené po výšce a v obytné zóně se tak vytváří tepelná nepohoda. Při vysoké výšce působí příznivě nerovnoměrný teplotní gradient, vedený po výšce místnosti. Rozdíl mezi teplotou vzduchu u podlahy, tedy v obytné zóně a pod stropem, narůstá tak jak roste tepelný zisk, např. od slunce. Vyšší tepelný přínos vytváří přirozeně vyšší teplotní rozdíl mezi teplotou u podlahy a teplotou pod stropem.

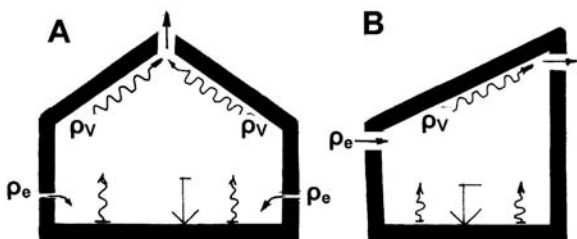
U topných zdrojů, např. u plynových kotlen, vzniká tepelný zisk od vnitřního zdroje – kotle a zařízení a někdy též z venkovního prostoru tepelný zisk od slunce, zejména při značném prosklení obvodového pláště. Zvýšená teplota vzduchu v kotelně, způsobená od tepelných zisků, je limitovaná přípustnou teplotou s ohledem na teplotní parametry vodičů. Při nízké světlé výšce kotelny nedochází k většímu rozdílu u teplotního gradientu po výšce místnosti mezi úrovní stropu a úrovní podlahy. Přiváděný chladný vzduch pro větrání místnosti, s nízkou světlou výškou, nedosahuje tak teplotního pásma potřebného pro obytnou zónu (zónu zařízení kotelny). Při větší světlé výšce kotelny dochází k lepšímu rozložení teploty a soustředění teplejšího vzduchu od tepelných zisků nad úrovní zařízení kotelny.

Produkce vlhkosti do vzduchu místnosti je většinou spojena i s produkcí vyšší teploty. U výrazně vlhkých provozů je výhodné, kromě uplatnění výšky místnosti, navrhovat šikmý strop.

U vodorovného podhledu stropu místnosti se lehčí vzduch spolu s vodní párou „přetlačuje“ do konstrukce podle zásad pro exfiltraci teplého vzduchu. Možnost pronikání vlhkosti do konstrukce se v případě zvětšení tlaku vodní páry na povrch stropu zvyšuje. Nejčastěji jsou u vlhkých prostorů patrná místa „černé plísně“ na podhledu stropu a u obvodové stěny horní části míst-

nosti. Dochází tam ke kondenzaci vzhledem k vysoké vlhkosti vzduchu a mnohdy nízké povrchové teplotě (pod úrovní rosného bodu). Nižší teplota rosného bodu u stropní konstrukce je způsobena vysokou vlhkostí vzduchu, který není směřován s ostatním vzduchem z prostoru místnosti – nenastává proudění.

Při plynulém proudění vzduchu podél šikmého stropu se vlhkost obsažená ve vzduchu neusazuje tak intenzivně pod stropní konstrukci jako v případě vodorovného podhledu. Na obr. 6 je naznačeno proudění vlhkého vzduchu pod šikmým podhledem střechy s vedením ke hřebenu střechy. V místě hřebenu střechy je odvod vzduchu otvorem nebo průduchem do venkovního prostoru.



Obr. 6 – Šikmý podhled stropu u místností s produkcí vlhkosti
A – s přívodem vzduchu do bytové zóny, B – s přívodem vzduchu, pod stropní konstrukci

Šikmého podhledu nad prostory s vyšší produkcí vlhkosti se používá, např. u halových prostor:

- bazénů, kde produkce vlhkosti do vzduchu je spojena i s vyšší teplotou vzduchu než je standardní teplota v místnostech běžného pobytu
- zemědělských provozoven, sloužících pro ustájení, kde vlhkost od zvířat je spojena často s produkcí vlhkosti od exkrementů
- velkokuchyní s produkcí vodní páry, koncentrovanou mastnotou a oděry
- prádeln s produkcí vodní páry

- společných sprch, umývárén, saun s vysokou produkcí vodní páry
- provozoven s vodní nebo parní technologií

1.9 Energetická bilance vysokých místností

Obecně je vžitá představa, že s vyšší výškou místnosti se úměrně zvyšuje i náklad na energii tepla a světla. Často je to odvozeno z ukazatelů, jakým je např. velikost obestavěného prostoru. Při běžné tepelné bilanci takové ukazatele mohou být oprávněny v případě používání konvekčního vytápění a větrání celého prostoru. Přitom nelze porovnávat konvekční vytápění prostor s malou výškou a prostor s velkou výškou, kde taková bilance vychází velmi nepříznivě.

2. Přirozené větrání

Průtok vzduchu místností, resp. budovou při přirozeném větrání je dán z tlakového rozdílu vzduchu mezi vnitřním a vnějším prostorem budovy.

Tlakový rozdíl při přirozeném větrání je dán:

- od účinku větru na budovu – infiltrace
- z rozdílu vnitřní a venkovní teploty vzduchu – exfiltrace

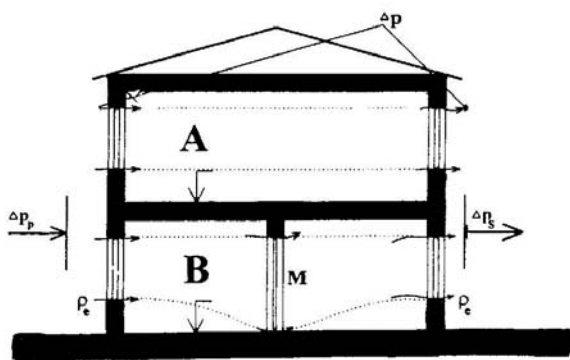
2.1 Tlakový účinek větru – infiltrace (obr. 7)

Účinkem větru proniká vzduch do budovy na návětrné straně přetlakem Δp_p a na závětrné straně budovy vzniká sání (podtlak) Δp_s . Tlakové hodnoty jsou vztaženy na úroveň předpokládaného atmosférického tlaku uvnitř budovy. Intenzita protékajícího vzduchu (objemový průtok \dot{V}_p) je dána rychlostí větru, která je proměnlivá v čase i směru a obecně se zvyšuje s výškou otvoru, resp. okenní spáry nad terénem budovy.

Na obr. 7 je vzduch veden:

- v podlaží A volným prostorem od návětrné stěny k závětrné stěně budovy,
- v podlaží B se sníženým průtokem přes dvevní spáry prostorem dvoutraktu.

Míra velikosti objemového průtoku vzduchu, od návětrné k závětrné stěně, je dána tlakovou ztrátou okenních a dvevních spár, resp. otvorů.



Obr. 7 – Schéma účinku větru pro proudění vzduchu podlažím A – podlaží bez příček, B – podlaží s příčkou a dveřmi

2.2 Regulace při průtoku vzduchu infiltrací

Energetických úspor lze při přirozeném větrání dosáhnout regulací průtoku vzduchu. K úspornému provozu větrání je nutné požadovaný průtok vzduchu regulovat tak, aby:

- byla vyrovnávána změna v parametrech větru (směr, rychlost), tedy aby byl regulován dispoziční tlak od větru
- byla respektována změna v užívání větraných prostor, např. intenzivním větráním při provozu a tlumeným větráním v přestávkách, tedy regulace průtoku tlakovou ztrátou.

Snižování objemového průtoku vzduchu při infiltraci se provádí pomocí prvků snižujících volný průřez otvoru nebo spáry. Většina pevně nastavitelných prvků je řešena pro ruční ovládání s polohami nebo mezipolohami nebo pouze systémem otevřeno – zavřeno.

a) Regulace okenní spáry

Nastavitelná vůle u okenních křídel je dnes nejjednodušším způsobem regulace vytvořením tlakové ztráty, která je vyjádřena pomocí součinitele spárové průvzdušnosti. Běžné je dnes třípolohové nastavení oken – volné šířky okenní spáry.

b) Regulační prvky v okenních, resp. dveřních spárách

V okenním rámu, resp. křídle, může být žaluzie pro pevně nastavitelnou polohu ve spáře, jejíž stěny nesmí tvořit tepelný most. Pro provětrávání vnitřního prostoru může být obdobně vytvořena ve dveřním rámu regulovatelná škvíra. Stěny okenní, resp. dveřní spáry v rámu mají obvykle tvar a povrch upravený pro utlumení přenosu hluku.

c) Regulační otvor

Pro regulaci průtoku vzduchu se zejména dříve navrhoval za otopným tělesem v parapetu otvor s ruční klapkou nebo nastavitelnou clonou s filtrem a akustickou ochranou.

d) Samoregulační prvky

K regulaci dispozičního tlaku od větru slouží samoregulační prvky. Samoregulace objemového průtoku vzduchu je založena na principu snížení volného průřezu otvoru nebo spáry působením vyššího přetlaku od zvýšení rychlosti větru, tj. zvyšuje se tlak na škrťací prvek.

e) Automatické regulační prvky

Regulaci průtoku ve venkovní spáře nebo otvoru lze provádět škrťacím prvkem, klapkou nebo žaluzií s elektrickým servopohonem. Plynule nebo v nastavitelných

polohách může regulační klapka regulovat průtok vzduchu podle čidla tahu, čidla teploty, resp. koncentrace škodliviny.

2.3 Ohřívání a chlazení vzduchu

Při přirozeném větrání infiltrací se ohřívá vzduch lokálně v místnosti. Přiváděný venkovní vzduch je v topném období nutné ohřívát na teplotu místnosti tak, jak je uvedeno na obr. 2. Při venkovních teplotách vzduchu nad 13 °C, resp. nad 15 °C se přiváděný vzduch již většinou neohřívá.

V letním období se naopak snažíme přívodem venkovního vzduchu snižovat teplotu vzduchu v místnosti zatížené tepelnými zisky, např. od slunce. Venkovní vzduch pro chlazení v létě jímáme na neosluněné severní stěně objektu a pro zimní období pak využíváme s výhodou přívod vzduchu z jižní ohřívané fasády.

2.4 Tlakový účinek z rozdílu teplot – exfiltrace

Rozdíl mezi teplotou uvnitř budovy (místnosti) a teplotou venkovního vzduchu je základem pro vytvoření dispozičního tlaku pro proudění vzduchu budovou a tedy pro větrání vnitřních prostorů. Shodně s předchozím systémem přirozeného větrání i zde je průtok vzduchu tvořen větrací soustavou v budově s výstupem a vstupem z/do venkovního prostoru. Narozdíl od infiltrace se uvažuje atmosférický tlak ve venkovním prostoru a tlak uvnitř budovy ve větrací soustavě je k této hodnotě vztažen.

Pro větrání se většinou uvažuje vyšší teplota vnitřního vzduchu a tudíž nižší hustota vzduchu. Teplejší vnitřní vzduch stoupá k horním místům pláště budovy, kde se „vytlačuje“ do venkovního prostoru. Exfiltrace vzduchu vzhledem k atmosférickému tlaku ve venkovním prostoru způsobuje v horní části budovy přetlak. V místech pro nasávání, pro přívod venkovního vzduchu,

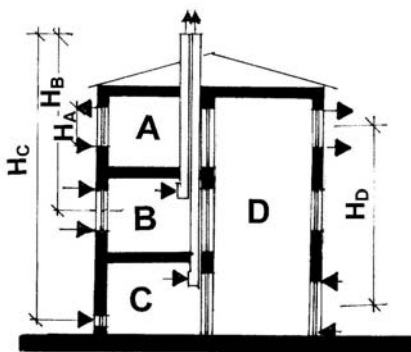
se vytváří ve větrací soustavě podtlak. Do větraného prostoru se nasává vzduch podtlakem, jehož velikost je dána z rozdílů hustot vzduchu a výšky od vstupního do výstupního otvoru.

Obecný vztah pro dispoziční tlak přirozeného větrání exfiltrací je:

$$\Delta p_p = H \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_i) \text{ (Pa)}$$

Na obr. 8 jsou zobrazeny čtyři základní příklady větrání exfiltrací v budově, ve kterém funkční schéma označené:

- symbolem A zobrazuje větrání místnosti z účinku okenních spár s výškou H_A
- symbolem B zobrazuje šachtové přirozené větrání s přívodem vzduchu okenními spárami, s účinnou výškou H_B
- symbolem C zobrazuje šachtové přirozené větrání s přívodem vzduchu do místnosti nasávacím otvorem při účinné výšce H_C
- symbolem D zobrazuje účinek exfiltrace ve schodišťovém prostoru s účinnou výškou otvorů H_D



Obr. 8 – Schéma přirozeného větrání budovy z rozdílů teplot
 A – větrání okenními spárami, B – šachtové větrání s přívodem vzduchu okenními spárami, C – šachtové větrání s přívodem vzduchu otvorem, D – větrání ve schodišťovém prostoru

2.5 Proměnný účinek přirozeného tahu

Základní nevýhodou přirozeného větrání je nerovnoměrnost požadované intenzity větrání. Objemové průtoky, které závisí na dispozičním tlaku se v průběhu roku mění tak, jak se mění i venkovní teplota. Při samozřejmém předpokladu stejné teploty v interiéru budovy je proměna hustoty venkovního vzduchu v průběhu roku úměrná četnosti výkonu při vytápění. Podle obr. 2 je nejintenzivnější větrání dáno při teplotách venkovního vzduchu nižších než $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a toto období přitom tvoří pouze osminu celkového množství tepla v topném období.

V zimních měsících s nízkou venkovní teplotou je větrání místností nejintenzivnější. V letních měsících, kdy dochází k vyrovnání teplot venkovního vzduchu s teplotami v interiéru je větrání exfiltrací prakticky nulové.

2.6 Regulace průtoku vzduchu při exfiltraci

Průtok vzduchu pro větrání lze regulovat pouze v případě, že je dostatečný dispoziční tlak, tedy dostatečně nízká teplota venkovního vzduchu.

Průtok větracího vzduchu místností u šachtového větrání regulujeme téměř výhradně škrcením, tj. vnesením tlakové ztráty do větrací soustavy. Z hlediska hydraulického je pro objemový průtok větracího vzduchu lhostejné, do jakého místa tlakovou ztrátu vnášíme. Nejčastěji však regulaci průtoku dáváme do nasávacího otvoru nebo spáry, aby byl tak i vyloučen vliv infiltrace na průtok vzduchu. Regulační prvky tvoří klapky, žaluzie, ventily a mohou být s ručním nebo automatickým ovládáním. Automatické ovládání regulačních prvků musí být řízeno čidlem nebo časovým spínačem.

U schodišťového prostoru, kde je nadměrná výška šachty a neregulovatelný přívod vzduchu při ote-

vřených dveřích, se provádí přepažování schodišťové šachty, umístění schodišťové šachty do vnitřního prostoru bez vazby na venkovní stěnu nebo se provádí utěsnění všech oken tak, aby nedocházelo k proudění vzduchu.

2.7 Proudění vzduchu z rozdílu teplot na venkovním povrchu budovy

V letních měsících dochází ke značnému rozdílu mezi teplotami vzduchu na povrchu jižní osluněné stěně budovy a na severní neosluněné stěně. Podle vnitřních teplot v interiéru podlaží i podle tvarové dispozice budovy dochází často k provětrávání vnitřních prostor (také při sníženém vlivu vnitřní exfiltrace, např. při jednotrakovém podlaží).

2.8 Porovnání účinku přirozeného větrání

Podle výpočtu tepelné ztráty budovy větráním daném výpočtovou normou je stanovení objemového průtoku vzduchu tvořeno účinkem větru, z tlakového rozdílu B (charakteristika budovy) a tlakové ztráty dveřních spár M (charakteristika místnosti) při tlakové ztrátě obsažené v součiniteli průvzdušnosti okenní spáry i_{LV} . Takto stanovená hodnota objemového průtoku vzduchu je však pouze normou stanovené kritérium pro relativně extrémní účinek větru. Slouží ke stanovení jmenovité tepelné ztráty při dimenzování otopné plochy, resp. návrhu topného zdroje pro ohřev vzduchu.

Trvalejší účinek pro stanovení větrání v průběhu topného období je lépe určit z teplotních rozdílů vnější a vnitřní teploty vzduchu, tedy z exfiltrace. Proto celoroční tepelná bilance na větrání, založená pouze na výpočtu výkonu z účinku větru, je zavádějící a nepřesná.

3. Nucené větrání

U nuceného větrání závisí dispoziční tlak pro proudění vzduchu budovou (místností) na parametrech použitého ventilátoru. Podle účelu budovy je větrání místnosti, vzhledem k atmosférickému tlaku vzduchu ve venkovním prostoru považováno za:

- **podtlakové větrání** – s podtlakem pro přívod vzduchu do větraného prostoru
- **přetlakové větrání** – s přetlakem přiváděného vzduchu do větraného prostoru
- **rovnotlakové větrání** – s atmosférickým tlakem ve větraném prostoru

Nuceným větráním budovy (místnosti) nejlépe zajistíme:

- požadovaný objemový průtok větracího vzduchu
- polohu přiváděného vzduchu do místa požadovaného větrání v místnosti
- proměnný průtok vzduchu podle provozních požadavků
- možnost využití alternativních zdrojů na ohřev vzduchu a zpětné využití tepla
- lepší možnost úpravy kvality venkovního vzduchu, např. s ohledem na čistotu, teplotu a vlhkost.

3.1 Použití alternativních zdrojů

Snížením prostupu tepla se zvyšuje podíl tepelné ztráty na větrání při celkové tepelné bilanci. Teplota přiváděného vzduchu pro větrání, vzhledem k malé tepelné ztrátě prostupem, je nízká a proto teplota pro ohřívání vzduchu je vhodná k využití alternativních zdrojů.

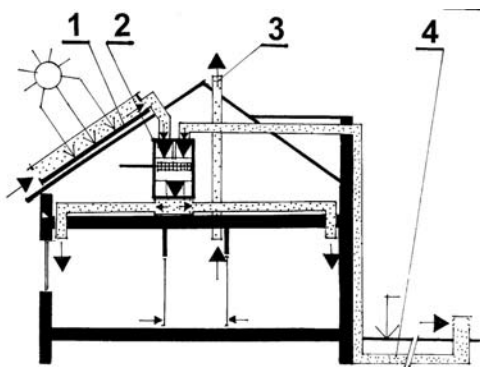
a) Ohřev vzduchu solární energií

V topném období je vhodné ohřívat přiváděný vzduch solární energií. Při jímání slunečního záření s trans-

formací do vzduchu existuje řada způsobů a variant s využitím:

- akumulace tepla do hmoty nebo přímý přenos tepla od absorberu do vzduchu
- pasivních absorberů z osluněných fasád a střešních ploch nebo vzduchových kolektorů, umístěných na střeše
- ohřívání vzduchu pro centrální rozvod v celé budově nebo místní rozvod pro jednotlivé místnosti nebo podlaží

Na obr. 9 je přehřívání větracího vzduchu ve vzduchovém kolektoru, umístěném ve střešní ploše. Podle schématu na obr. 9 je vzduchotechnická jednotka 2 s filtrem, ohříváčem a ventilátorem provedena jako směšovací s možností variantního přehřevu vzduchu v zemním kolektoru. Při přebytku tepla v solárním kolektoru a jeho nevyužití pro ohřev větracího vzduchu, je možné zajistit přepnutí ohřátého vzduchu ze vzduchového kolektoru na zemní kolektor a teplým vzduchem akumulovat teplo do země.



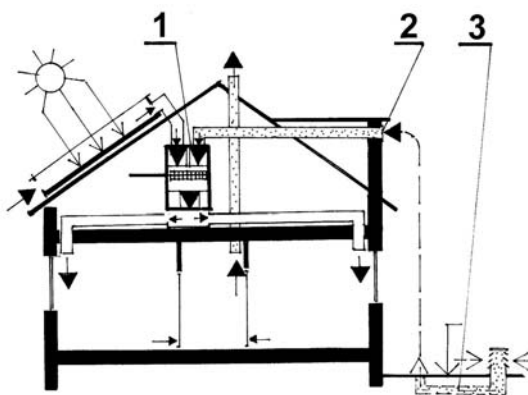
Obr. 9 – Schéma přehřevu vzduchu solární energií nebo zemním kolektorem

1 – vzduchový kolektor, 2 – směšovací jednotka s filtrací ohřevem a ventilátorem, 3 – odvod zkaženého vzduchu, 4 – varianta s ohřevem vzduchu v zemním kolektoru

b) Chlazení větracího vzduchu

V letních měsících je třeba místnost, resp. budovu ochlazovat vzduchem, zejména při prosklené plášťové konstrukci, která vytváří tepelné zisky od slunce.

Na obr. 10 je do směšovací vzduchotechnické jednotky nasáván vzduch z nejchladnějšího venkovního prostoru. Obvykle je místem pro nasávání vzduchu severní fasáda budovy 2 v blízkosti terénu a obecně prostory s velkou akumulací chladu, od jejichž povrchu se vzduch ochlazuje. Jedním z možných řešení je rovněž nasávání vzduchu z podzemních prostorů nebo podzemních kolektorů 3.



Obr. 10 – Schéma přirozeného chlazení vzduchu ze zemního kolektoru

1 – směšovací, filtrační a ventilátorová jednotka, 2 – varianta nasávání vzduchu ze severní stěny budovy, 3 – nasávání vzduchu zemním kolektorem

Konvekční chlazení místnosti chladným větracím vzduchem z venkovního prostoru (bez umělého chladícího zdroje) může být využíváno jako:

- přímé ochlazování vzduchu v místnosti ohřátého od tepelných zisků, např. od slunce výměnou za chladnější vzduch

- odvod naakumulovaného tepla z teplejšího povrchu konstrukce místnosti do chladnějšího vzduchu, např. při nočním větrání budovy se zajišťuje vychladnutí konstrukce

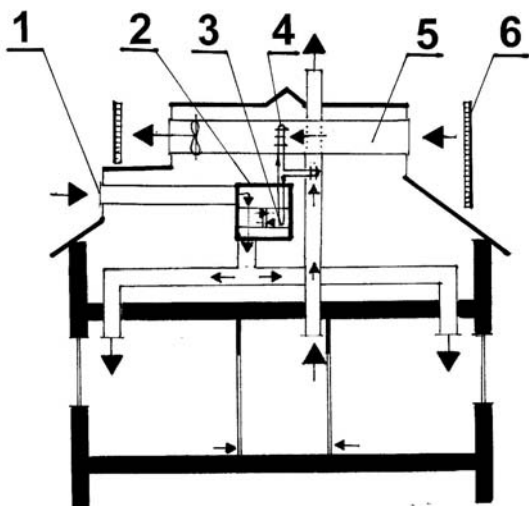
Ochlazování místnosti chladným vzduchem bez umělého chlazení vzduchu je energeticky velmi výhodné, i když objemový průtok pro ochlazování je vyšší než v případě strojního chlazení, neboť je vyšší teplota chladného vzduchu v závislosti na venkovní teplotě.

c) Ohřívání vzduchu tepelným čerpadlem

Jak již bylo uvedeno výše, je výhodou ohřevu vzduchu oproti teplovodnímu vytápění relativně nízká teplota, na jakou je možné vzduch ohřívat. Teplota ohřívané teplotnosné látky (vzduchu) je u tepelného čerpadla limitována teplotou ve výměníku kondenzátoru, který dovoluje teplotu do 50 až 55 °C. Na obr. 11 je nasávaný vzduch 1 ve výměníku kondenzátoru 3 tepelného čerpadla 2 ohříván a rozváděn do budovy. Výparník 4 tepelného čerpadla tvoří výměník vložený do proudu odváděného vzduchu z budovy a do látky tvořící zdrojové teplo (vzduch, voda, země, ZVT). Při malých výkonech pro ohřev větracího vzduchu to může být i řada vzduchových průduchů pro průtok venkovního vzduchu ve střešní konstrukci tak, aby vzduchový výkon ventilátorů byl rozložen do několika jednotek.

Zdrojem nízkopotencionálního tepla mohou být podle lokality budovy nejen venkovní vzduch, ale další možné využitelné nízkopotencionální zdroje tepla, zejména z vody.

Pro využití tepla z odváděného větracího vzduchu se v případě nasazení TČ volí spíše jeho využití v okruhu TČ než jeho rekuperace, neboť režim odvádění větracího vzduchu je shodný s ohříváním přívodního větracího vzduchu.



Obr. 11 – Ohřívání vzduchu tepelným čerpadlem

1 – nasávání větracího vzduchu, 2 – tepelné čerpadlo, 3 – výměník kondenzátoru TČ, 4 – výměník výparníku TČ, 5 – nízkopotenciální zdrojové teplo – venkovní vzduch, 6 – absorpční tlumič

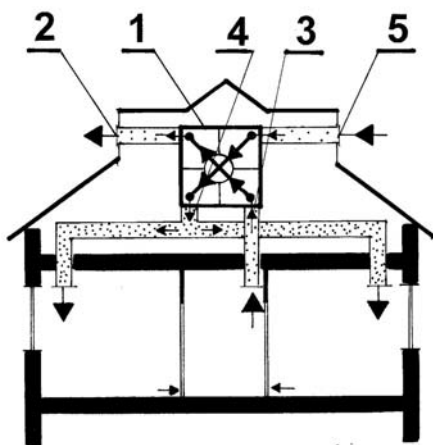
3.2 Rekuperace větracího vzduchu

Vzhledem k nízkému poměru tepelné ztráty prostupem k tepelné ztrátě na větrání je objemovým průtokem přiváděno dostatečné množství tepla i na vytápění.

Při vysoké tepelné ztrátě prostupem a malé tepelné ztrátě na větrání bylo, při teplovzdušném vytápění, využíváno tepla obsaženého v odváděném vzduchu z místnosti na míchání s přiváděným větracím vzduchem. Odváděný vzduch z místnosti v soustavě teplovzdušného vytápění, který se přimíchává k přívodnímu vzduchu se nazývá vzduch cirkulační. Cirkulační vzduch se využívá při teplovzdušném vytápění v době, kdy v místnosti nevznikají škodliviny, např. v mimoprovozní době, kdy místnost není nutné větrat a nebo je větrání tlumené.

Při rekuperaci větracího vzduchu se přívodní chladný

vzduch předehřívá předáním části tepla z odváděného vzduchu. Konstrukčních principů rekuperačních výměníků nebo i regeneračních výměníků je celá řada. Stupeň využití odpadního tepla z odváděného vzduchu podle konstrukce výměníku je rovněž proměnný. Často uváděné účinnosti rekuperace 0,7 až 0,75 představují předání 70 až 75 % tepla do přiváděného vzduchu. Účinnost je však závislá na teplotním rozdílu odváděného a přiváděného vzduchu. Čím je tento rozdíl teplot vyšší, tím se dosahuje i vyšší účinnosti rekuperace. Teploty odváděného vzduchu z místnosti bývají přibližně na konstantní úrovni, a proto teplotní rozdíl je dán zejména venkovními teplotami. Velmi nízkých venkovních teplot je dosahováno pouze v časově krátkém období, např. při nižších teplotách venkovního vzduchu než je $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po většinu topného období při venkovních teplotách vzduchu např. nad $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ se účinnost rekuperace snižuje.



Obr. 12 – Schéma rekuperace větracího vzduchu

1 – rekuperátor vzduchu, 2 – výstup odváděného vzduchu z místnosti, 3 – vstup odváděného vzduchu do rekuperátoru, 4 – výstup větracího vzduchu z rekuperátoru, 5 – nasávání venkovního větracího vzduchu

Na obr. 12 je naznačeno schéma rekuperace při ústředním větracím systému. Schéma je bez znázornění dohřevu přiváděného vzduchu na teplotu tepelné pohody, neboť ohřev vzduchu může být řešen lokálně v místnosti podle požadavků na individuální komfort v místnosti. Podle obr. 12 odváděný teplý vzduch 3 vstupuje do rekuperačního výměníku 1 a po předání tepla vystupuje do venkovního prostoru 2. Venkovní vzduch 5 s teplotou nižší než je teplota odváděného vzduchu z místnosti přijímá teplo od odváděného vzduchu. Výstupní vzduch z rekuperátoru 4 má rovněž nižší teplotu, např. o 5 °C než má odváděný vzduch 3.

3.3 Stropní velkoplošné a konvekční vytápění a chlazení větracím vzduchem

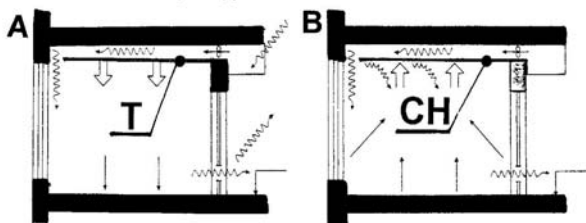
Stropní velkoplošné a konvekční vytápění a chlazení bylo dříve řešeno perforovaným podhledem, kterým měl být vzduch rovnoměrně přiváděn po dispozici místnosti.

V řešení uvedeném na obr. 13 je větrací vzduch přiváděn k obvodové, často prosklené stěně, tedy tam, odkud tepelná ztráta nebo tepelný zisk z povrchu venkovní stěny na místnost působí.

Při stropním velkoplošném vytápění, podle obr. 13A, dopadá z podhledu, nad kterým prochází vzduch, sálání na ostatní povrchy místnosti a stropní plocha se ohřívá prakticky okamžitě po plném průtoku teplého větracího vzduchu. Soustřeďování teplého vzduchového polštáře pod sálavou plochou podhledu snižuje výkon pouze tím, že teplota tohoto vzduchu není využita v pobytové zóně.

U stropního chlazení v letních měsících, jak je naznačeno na obr. 13B, dopadá na chladnou podhledovou plochu sálání z ostatních ploch místnosti, zejména od podlahy, která bývá mnohdy přímo ohřívána dopadem slunečních paprsků. Vysáláním tepla ohřátých povrchů na studený strop se odebírá teplo z povrchů místnosti. Teplý vzduch, stoupající pod strop, je na povrchu chlad-

ného stropu ochlazován s tendencí klesat k podlaze. Konvekční chlazení vzduchu na velkoplošné stropní ploše je považováno za chladicí výkonový přínos.



Obr. 13 – Stropní velkoplošné a konvekční vzduchové vytápění a chlazení

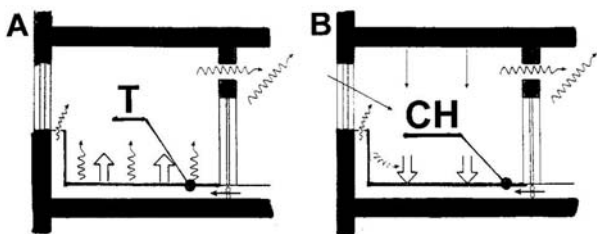
A – schéma sdílení tepla při ohřevu podhledové plochy T, B – schéma sdílení tepla při chlazení podhledové plochy CH

3.4 Podlahové velkoplošné a konvekční vytápění a chlazení větracím vzduchem

Teplovzdušné konvekční vytápění je vytápění nízkoteplotní, např. s teplotou vzduchu do 40 °C. Tyto teploty jsou většinou výhodné jako teploty teplonosné látky pro podlahové vytápění.

Proudící vzduch průduchem, vytvořeným lehkým podlahovým pláštěm nad konstrukcí stropu spodního podlaží, je veden k výústkům nebo štěrbinám podél obvodové stěny. Kromě sálavého účinku z povrchu podlahy na povrchy místností působí i konvekce od povrchu podlahy.

U vzduchem chlazených površích podlah se významně využije vzduch pro odvod tepelných zisků od dopadajícího slunečního záření na povrch podlahy. Vzduchem chlazené podlahové plochy zajišťují okamžitý odvod tepelných zisků a systém pracuje bez setrvačnosti otopné plochy. To je jeho zásadní hygienická a energetická přednost.



Obr. 14 – Podlahové velkoplošné a konvekční vzduchové vytápění a chlazení

A – schéma sdílení tepla při ohřevu podlahové plochy T, B – schéma sdílení tepla při chlazení podlahové plochy CH

4. Kombinované větrání

Při kombinovaném větrání působí ve větrací soustavě vedle účinku dispozičního tlaku od ventilátoru ještě účinek přirozeného tlaku působením exfiltrace nebo infiltrace. Kombinace nuceného a přirozeného větrání může působit:

- v paralelním provozu,
- v alternativním provozu, kdy přirozené větrání je nahrazeno nuceným větráním pomocí ventilátoru.

4.1 Kombinace větrání v paralelním provozu

Při každém nuceném větrání působí, v případě netěsnosti obvodového pláště, i přirozené větrání exfiltrací a infiltrací. Působení objemového průtoku vzduchu od účinku přirozeného tlaku může být v souhlasném nebo opačném směru s působením účinku nuceného větrání. Proudění vzduchu přirozeným tlakem nemůžeme zabránit v případě netěsnosti nebo otevření do venkovního prostoru, můžeme jej však regulovat. Je tomu například u vstupu do budovy, kde přirozený tah exfiltrací proudícího vzduchu snižujeme

vzduchovou clonou, deskovými turnikety dveřních otvorů nebo zdvojením dveří apod.

Při nedostatečném účinku průtoku větracího vzduchu od přirozeného větrání se doplňuje dispoziční tlak ventilátorem často s proměnným vzduchovým výkonem pro zajištění rovnoměrnosti intenzity větrání. Většina větracích systémů šachtového větrání, např. bytového, využívá přirozeného tahu, který po většinu roku při odvodu teplého vzduchu z místností, např. od digestoře, vytváří v šachtě dostatečný tah.

4.2 Kombinované větrání s alternativním provozem

Při snaze po dosažení energetických úspor z ohřívání vzduchu na větrání je nutné, aby při nízkých teplotách vzduchu bylo přiváděno řízené množství vzduchu tak, jak požadují hygienické předpisy. Nuceným větráním je přiváděn ohřátý vzduch do budovy při utěsněném obvodovém plášti. Při vyšších teplotách venkovního vzduchu, resp. v době mimo topného období, lze přirozeným větráním zajistit dostatečnou, někdy i nadstandardní výměnu vzduchu. Nucené větrání lze tak omezit na období s nízkými teplotami venkovního vzduchu.

Rovněž u budov, resp. místností, které jsou využívány pouze krátkodobě, např. prostory shromažďovací u občanské vybavenosti, působí intenzivní nucené větrání pouze krátkodobě a často v závislosti na vzduchovém prostoru velkoobjemového charakteru místnosti. V mimoprovozní době tlumeného větrání, kdy nevznikají škodliviny, bývá přirozené větrání dostatečné a přitom energeticky nenáročné a vyhovující svojí intenzitou.

Častým kritériem kombinace přirozeného a nuceného větrání je právě energetická náročnost na větrací systém a podle účelu budovy i požadavek na komfort větrání.

5. Bezpečnost a hygienické aspekty větrání

Přívod venkovního vzduchu do místnosti, ve které vznikají škodliviny ohrožující zdraví a život osob nebo kde případný nedostatek vzduchu může takové škodliviny vytvořit (např. při spalování), podléhá řadě specifických předpisů, které obsahují nejčastěji:

- požadavek na velikost objemového průtoku vzduchu
- požadavek na velikost místnosti
- polohu místa přívodu a odvodu vzduchu, někdy i směr předpokládaného proudění vzduchu
- automatický systém spouštění a stanovení intenzity větrání podle čidla koncentrace, teploty, vlhkosti, proudění apod.

Bezpečnostní a hygienické aspekty větrání se vždy uplatňují při spalování paliv ve spotřebičích, při průtoku a skladování výbušných a hořlavých plynů a kapalin a obecně i paliv v budovách.

6. Platná legislativa a související předpisy

6.1 České technické normy

ČSN 06 0210 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění

ČSN EN 12 828 Tepelné soustavy v budovách – Navrhování teplovodních tepelných soustav

ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky

ČSN EN 832 Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění – (73 0564) Obytné budovy

6.2 Technická pravidla a technická doporučení GAS

TPG 704 01 Odběrná plynová zařízení a spotřebiče na plynná paliva v budovách

TPG 908 02 Větrání prostorů se spotřebiči na plynná paliva s celkovým výkonem větším než 100 kW

7. Přehled možností energetických úspor při větrání prostor

K energeticky úspornému větrání je možné přispět některými z následujících řešení:

- racionálním větráním, při němž je třeba zohlednit:
 - přesnost při stanovení objemových průtoků vzduchu podle produkce škodlivin
 - režim větrání, který je třeba přizpůsobit režimu provozu (intenzivní a tlumené větrání)
 - objem, tvar a zejména výšku větrané místnosti (větrání objemem místnosti)
 - přívod vzduchu do exponovaného místa (bez míchání čerstvého vzduchu se zkaženým)
 - možnost kombinovaného způsobu větrání podle křivky četnosti venkovních teplot
 - automatizaci provozu větrání podle čidla nastavení
- racionálním použitím zdrojů tepla pro ohřev a chlazení vzduchu:
 - alternativními zdroji
 - rekuperací tepla z odváděného vzduchu
 - s využitím pasivních zisků pro ohřev vzduchu od slunce
 - s využitím přívodu vzduchu z chladného prostředí v letních měsících
- účinným předáváním tepla, resp. chladu ve větracím prostoru:
 - ve vhodné kombinaci s otopnou plochou
 - s využitím tepla, resp. chladu pro velkoplošné vytápění a chlazení větracím vzduchem