

Větrání

rodinných a bytových domů

167

profi
&hobby

Vladimír Zmrhal

- větrací jednotky
- zpětné získávání tepla
- kvalita vnitřního ovzduší

Větrání

rodinných a bytových domů

Vladimír Zmrhal

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude **restně stíháno**.

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.

Větrání rodinných a bytových domů

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, Praha 7

obchod@grada.cz, www.grada.cz

tel.: +420 234 264 401, fax: +420 234 264 400

jako svou 5382. publikaci

Odpovědná redaktorka Věra Slavíková

Jazyková korektura Pavlína Zelníčková

Sazba Vladimír Velička

Fotografie a kresby z archivu autora, pokud není uvedeno jinak

Fotografii na obálku poskytla společnost VELUX Česká republika, s.r.o.

Počet stran 96

První vydání, Praha 2014

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a.s.

Odborná recenze: prof. Ing. František Drkal, CSc.

© Grada Publishing, a. s., 2014

Cover Design © Grada Publishing, a. s., 2014

Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků.

ISBN 978-80-247-4573-2

TIRÁŽ ELEKTRONICKÉ PUBLIKACE:

ISBN 978-80-247-8657-5 (elektronická verze ve formátu PDF)

ISBN 978-80-247-8903-3 (elektronická verze ve formátu EPUB)

Obsah

1 Úvod	7
1.1 Co je větrání a proč je nutné větrat	7
1.1.1 Nízké povědomí a negativní důsledky nedostatečného větrání	8
1.2 Způsoby větrání.....	9
1.2.1 Celkové nucené větrání.....	11
1.2.2 Vzduch proudící budovou.....	11
1.2.3 Průtok vzduchu	11
2 Vnitřní prostředí obytných budov	13
2.1 Tepelný a vlhkostní stav prostředí	13
2.1.1 Celkové hodnocení tepelného stavu prostředí	15
2.2 Čistota ovzduší.....	15
2.2.1 Znečišťující látky z vnitřního prostředí	16
2.2.2 Znečišťující látky z venkovního prostředí	24
3 Požadavky na větrání	25
3.1 Pettenkoferovo kritérium	25
3.2 Zdroje informací	26
3.2.1 Přehled dokumentů	26
3.3 Národní požadavky na větrání obytných budov	27
3.3.1 Požadavky na větrání obytných budov v ČR dle ČSN EN 15665/Z1	28
3.3.2 Doporučené hodnoty pro dosažení kvality vnitřního vzduchu	32
3.4 Zahraniční požadavky na větrání obytných budov	32
3.4.1 Porovnání zahraničních požadavků.....	34
4 Větrací systémy obytných budov	36
4.1 Historie a současnost.....	36
4.2 Doporučené větrací systémy	36
4.2.1 Větrání na základě potřeby.....	37
4.3 Nucené podtlakové větrání.....	37
4.3.1 Centrální podtlakové systémy	38
4.3.2 Lokální podtlakové systémy	38
4.4 Nucené rovnotlaké větrání	39
4.4.1 Centrální rovnotlaké systémy	40
4.4.2 Lokální rovnotlaké systémy	41
4.4.3 Teplovzdušné vytápění	42

4.5	Hybridní větrání	43
4.6	Větrání pomocných prostor	44
5	Prvky větracích systémů obytných budov	45
5.1	Ventilátory	45
5.1.1	Třídění ventilátorů	46
5.2	Zpětné získávání tepla	49
5.2.1	Teplotní a vlhkostní faktor ZZT	50
5.2.2	Výměníky ZZT používané ve větracích jednotkách	52
5.2.3	Větrací jednotky se ZZT	54
5.3	Větrací hlavice	57
5.4	Vyústky	59
5.4.1	Prvky pro přívod vzduchu	60
5.4.2	Převáděcí otvory	61
5.5	Vzduchovody	62
5.5.1	Zanášení vzduchodůů	65
5.5.2	Větvení vzduchodůů	65
5.5.3	Návrh vzduchodůů	66
5.5.4	Tepelná izolace vzduchodůů	66
5.6	Zemní výměníky tepla	66
6	Návrh větrání	69
6.1	Příklad návrhu podtlakového větrání bytu	70
6.2	Příklad návrhu větrání rodinného domu	72
6.2.1	Postup návrhu	72
6.3	Větrání v zimě a v létě	75
6.4	Požární bezpečnost staveb	76
7	Potřeba energie pro větrání obytných budov	77
7.1	Potřeba tepla pro ohřev venkovního vzduchu	77
7.1.1	Denostupňová metoda	77
7.1.2	Hodinová metoda	79
7.1.3	Potřeba tepla s uvažováním tepelných zisků – pasivní domy	79
7.2	Potřeba energie pro pohon ventilátorů	81
7.2.1	Ohřátí vzduchu ve ventilátoru	82
7.2.2	Příklady výpočtu	83
7.3	Celková potřeba energie na větrání	85
Literatura	87	
Rejstřík	91	

Ve vnitřním prostředí budov stráví člověk podstatnou část života. Délka pobytu v obytném prostředí (domácnosti) se liší podle věku, v každém případě přibližně třetinu dne stráví každý člověk odpočinkem a spánkem. Kvalitu života v obytných budovách ovlivňují jednak vlastnosti budovy vč. technického vybavení a v druhé řadě sám člověk svou činností. Ukazuje se, že až 50 % všech nemocí souvisí s kvalitou vnitřního prostředí budov [14]. Jednou ze základních potřeb člověka, jež podstatně ovlivňují kvalitu vnitřního prostředí, je větrání, které tak má prokazatelný vliv na lidské zdraví.

V současné době, v souvislosti s rostoucí cenou energie, je při výstavbě obytných budov kladen důraz především na tepelnětechnické vlastnosti stavebních konstrukcí. Okenní spáry, které dříve umožňovaly přirozené větrání, se u nových konstrukcí oken radikálně zmenšily z důvodu vysokých nároků na neprůvzdušnost. Přirozené větrání spárami oken tak nelze pro trvalé větrání budov s novými a rekonstruovanými okny prakticky použít. Nežádoucím důsledkem instalace nových těsných oken je často nedostatečné větrání obytných prostor s negativními dopady, jakými jsou například vyšší koncentrace škodlivin ve vnitřním prostředí nebo zvýšená vlhkost. V případě nevhodného řešení větrání obytných budov může docházet k řadě negativních jevů, jakými jsou kondenzace vodní páry na chladných površích stavebních konstrukcí, vznik plísní, vlhnutí konstrukcí, nedostatečný přívod vzduchu pro spalování atp.

1.1 Co je větrání a proč je nutné větrat

Základním prostředkem k zajištění kvality vzduchu ve vnitřním prostředí je větrání, které je charakterizováno přívodem čerstvého, venkovního vzduchu do vnitřních prostor budov a odvodem vzduchu znehodnoceného. Vnitřní prostředí budov je zatíženo znečišťujícími látkami, které se uvolňují ze stavebních materiálů, nábytku, chemických přípravků, ale i z povrchu osob a při jejich činnosti. Znečišťující látky lze z prostoru buď odstranit (odsávat u zdroje), nebo ředit (celkové větrání s přívodem a odvodem vzduchu).

Úkolem větrání ve vnitřních prostorách obytných budov je především úprava čistoty ovzduší, popř. tepelně-vlhkostních podmínek. Čerstvý, venkovní vzduch se přivádí do obytných místností buď bez filtrace (přirozené větrání), nebo se filtruje. Odvod vzduchu je realizován z místností s hlavními zdroji znečišťujících látek (kuchyň, koupelny, WC). Venkovní vzduch je nejčastěji přiváděn bez úpravy (podtlakové větrání) nebo předehříváný (např. ve výměníku zpětného získávání tepla). Tepelnou ztrátu větráním pak hradí otopná soustava. V některých případech se pro úhradu tepelné ztráty větráním používá ohřívač vzduchu.

1.1.1 Nízké povědomí a negativní důsledky nedostatečného větrání

Řada lidí si potřebu větrat často ani neuvědomuje a větrání v nových a rekonstruovaných budovách bývá zcela opomíjenou záležitostí. Přitom nejčastějším problémem v obytných budovách je vysoká relativní vlhkost vnitřního vzduchu a s tím související problémy s kondenzací vodní páry. Zcela mylnou představou řady lidí totiž je, že „vlhkost“ lze odvádět otopnou soustavou – vytápěním. Skutečnost, že lze v domácnosti usušit prádlo nebo ručníky na otopném tělese, evokuje pocit, že se vlhkost odvádí. Ovšem voda, která se odpaří, přechází ve formě vodní páry do vzduchu. Určité množství vodní páry pak produkuje člověk další činností v domácnosti.

V případě nedostatečného větrání dochází v obytném prostředí ke zvyšování relativní vlhkosti vzduchu, která v případě vysokých hodnot znehodnocuje vnitřní ovzduší a často je příčinou kondenzace vodních par v místech s nízkou povrchovou teplotou (okna, místa s tepelným mostem apod.), kde následně mohou vznikat plísně (obr. 1). Krátkodobou kondenzací na okenních tabulích (tj. takovou, kdy nedochází ke stékání kondenzátu po okně a která vzniká v dolní části okenní tabule) lze v ojedinělých případech připustit. Dlouhodobá kondenzace na oknech a zejména kondenzace na stavebních konstrukcích je však zcela nepřijatelná. Vysoká vlhkost ve vnitřních prostorách může způsobovat i škody na majetku, kdy vlhnutí stěn může vést až k narušení zdiva či konstrukce domu.



Obr. 1 Kondenzace vodní páry na okenní výplni a tvorba plísně v místech s tepelným mostem (zdroj: K. Klánová)

Jedním z hlavních metabolitů (látek vznikajících při metabolických procesech)

sech) je oxid uhličitý CO_2 , který se podstatně podílí na kvalitě vnitřního ovzduší. I když v běžných koncentracích ve vnitřním prostředí není CO_2 životu nebezpečný, podstatně ovlivňuje pohodu člověka. Vysoké koncentrace CO_2 způsobují únavu, ospalost, letargii, případně nevolnost.

V krajním případě může být špatně navržené větrání životu nebezpečné. Jedná se o případy, kdy vlivem omezení přirozeného přívodu vzduchu do prostoru s plynovým spotřebičem (karma, kotel) může za určitých podmínek (při nedodržení příslušných předpisů) dojít i ke smrtelné otravě oxidem uhelnatým [6].

Důsledkem nedostatečného větrání obytného prostředí, kde člověk tráví většinu svého života, jsou ze zdravotního hlediska různá respirační onemocnění (alergie, astma apod.). Ač je za větrání nutno platit peníze, neboť je spojeno s určitou spotřebou energie, zdraví člověka by mělo mít v tomto směru přednost. Problematika kvality vnitřního prostředí má tak nečekaně celospolečenský charakter v podobě nákladů státu na zdravotní péči. Větrání je záležitostí, která se vyplácí z dlouhodobého hlediska. Bylo by jistě zajímavé zhodnotit, jak vysoké jsou náklady na zdravotní péči jedinců, zejména pak dětí, majících zdravotní problémy v podobě respiračních onemocnění, alergií apod.

Současný trend snižování spotřeby energie za každou cenu vede k řešením, která jsou z hlediska zajištění zdravého vnitřního prostředí v obytných budovách nedostatečná. Jedná se zejména o masivní zateplování a výměnu oken při současném zachování systému větrání, který se tím stává zpravidla nefunkčním. Je jisté, že pokud chceme zajistit požadovanou kvalitu vnitřního ovzduší, musíme spotřebovat energii pro dopravu a ohřev vzduchu. Snahou je tuto spotřebu minimalizovat, k čemuž lze použít různá technická řešení. S nástupem nové generace výstavby obytných budov v podobě nízkoenergetických (tzv. pasivních) domů se situace začíná výrazně zlepšovat a nedílnou součástí energeticky úsporného řešení bývá celkové nucené větrání se zpětným získáváním tepla.

1.2 Způsoby větrání

V době panelové výstavby obytných domů bylo větrání řešeno přirozeným způsobem, kdy vzduch trvale pronikal do vnitřních prostor okenními spárami. V souvislosti s opatřeními ke snížení spotřeby energie zejména na vytápění poklesl přirozený přívod vzduchu v nových a rekonstruovaných budovách s těsnými okny na minimum. Výrobci oken museli zareagovat na vzniklou paradoxní situaci, kdy měli splnit tepelnětechnické a akustické vlastnosti oken na straně jedné a požadavky na větrání na straně druhé. Většina oken tak umožňuje tzv. „mikroventilaci“, což je poloha okna

mezi otevřeným a zavřeným režimem. Výrobci však vlastnosti okna v takové poloze nejsou nuceni uvádět, nicméně je jisté, že například neprůzvučnost okenní výplně je takovou polohou znehodnocena. Z pohledu tepelnětechnického se zase jedná o nekontrolovatelný, přirozený přívod venkovního vzduchu, kterému se snažíme vyhnout. Navíc uvedený způsob větrání nelze označit za trvalý, neboť značně závisí na chování člověka.

Možností, o níž je nutné se zmínit, je provětrávání, tj. přerušované větrání otevřením okna. Z energetického i hygienického hlediska se doporučuje větrat krátce, často a velkými průřezy. Zde však narážíme na podstatný problém, neboť provětrávání vyžaduje od uživatelů budovy jistou sebekázeň a systematickosti, kterou v noci během spánku není možné v zimním období prakticky zajistit.

Z uvedeného vyplývá, že zajištění kvalitního vnitřního prostředí přirozeným větráním je za současných podmínek výstavby poměrně obtížné. Řešení tedy vyžaduje poněkud sofistikovanější přístup v podobě využití nucených větracích systémů.

Při **nuceném větrání** je proudění vzduchu ve větraném prostoru způsobeno nuceným (mechanickým) účinkem – většinou ventilátory. Naproti tomu při zmiňovaném **přirozeném větrání** dochází k proudění vzduchu ve větraném prostoru vlivem přirozeného tlakového rozdílu – rozdílných hustot (teplot) vzduchu vně a uvnitř větraného prostoru – a účinku větru. **Větrání hybridní** pak představuje kombinaci přirozeného a nuceného větrání. Jedná se o poměrně propracovaný větrací systém, který vyhodnocuje, zda přirozené větrání postačuje pro větrání daného prostoru (zajišťuje požadovanou kvalitu vzduchu); pokud tomu tak není, uvede se do provozu nucené větrání. Pro snížení energetické náročnosti větrání byl vyvinut systém tzv. **větrání podle potřeby** (DCV – Demand Control Ventilation), což je řízení průtoku venkovního vzduchu podle kvality vzduchu, zpravidla podle koncentrace CO₂ ve větraném prostoru

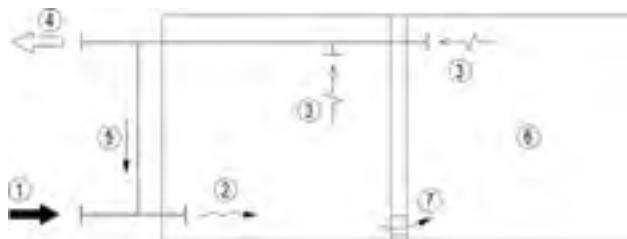
V praxi se uplatňují nucené **podtlakové** a **rovnotlaké** systémy větrání. U podtlakových systémů dochází k přívodu vzduchu podtlakem přes větrací otvory umístěné v obálce budovy. K dopravě vzduchu slouží odsávací ventilátor. Rovnotlaké systémy zajišťují celkové větrání s přívodem i odvodem vzduchu. Výhodou oproti podtlakovým systémům je skutečnost, že umožňují využít zpětné získávání tepla, proto se užívají pro větrání pasivních budov. Podtlakové systémy nelze pro pasivní budovy použít, nicméně najdou své uplatnění například při rekonstrukcích panelových domů, kde prostor instalační šachty bývá značně omezen.

1.2.1 Celkové nucené větrání

Celkové nucené větrání zajišťuje pokud možno rovnoměrné provětrání pásma pobytu osob čerstvým, venkovním vzduchem. Uplatňuje se tam, kde jsou znečišťující látky v prostoru rovnoměrně rozmístěny – typickým příkladem je obytné prostředí.

1.2.2 Vzduch proudící budovou

Vlastnosti vzduchu proudícího budovou se mění. Z hlediska větrání obytných budov rozlišujeme vzduch venkovní, přiváděný, odváděný, odpadní, oběhový a převáděný (obr. 2). Vzduch venkovní (1), také nazývaný čerstvý nebo větrací, je vzduch přiváděný do vnitřních prostorů k větrání. Vzduch přiváděný (2) do větraného prostoru zahrnuje vzduch venkovní (1) a může obsahovat i vzduch oběhový (5), což je část odváděného vzduchu, která se vrací do větraného prostoru. Oběhový vzduch se využívá například u teplovzdušného vytápění a větrání. Znečištěný vzduch je větracím zařízením odváděný (3) z větraného prostoru. Vzduch odpadní (4) je část odváděného vzduchu, která se vyfukuje do venkovního prostředí. Vzduch převáděný (7) je vzduch proudící otvorem mezi dvěma místnostmi za účelem větrání. Za vzduch vnitřní (6) označujeme vzduch ve vnitřním prostředí, jehož parametry (čistotu, teplotu) zpravidla upravujeme.



Legenda:

- 1 venkovní vzduch
- 2 přiváděný vzduch
- 3 odváděný vzduch
- 4 odpadní vzduch
- 5 oběhový vzduch
- 6 vnitřní vzduch
- 7 převáděný vzduch

Obr. 2 Znárodnění různých typů vzduchu

1.2.3 Průtok vzduchu

Návrh větracího zařízení spočívá ve stanovení potřebného průtoku venkovního vzduchu a vzduchu odváděného (znehodnoceného), případně vzduchu oběhového.

Průtok venkovního vzduchu do obytných místností se určuje zpravidla podle požadavku na kvalitu ovzduší na základě:

- ▶ bilance škodlivé látky,
- ▶ průtoku vzduchu na osobu,
- ▶ intenzity větrání.

Průtok odváděného vzduchu určuje tlakové podmínky v prostoru.

Některá zařízení slouží jak pro větrání, tak současně i pro vytápění prostoru. Jedná se o tzv. teplovzdušné vytápění a větrání. U těchto zařízení se využívá **oběhový vzduch** z důvodu snížení pracovního rozdílu teplot, tj. rozdílu mezi teplotou přiváděného vzduchu t_p a teplotou vnitřního vzduchu t_i ; $\Delta t_p = t_p - t_i$. Při teplovzdušném vytápění bývá Δt_p maximálně 25 °C.

Základním vztahem používaným ve větrání je kalorimetrická rovnice. Pro úhradu tepelné ztráty lze psát

$$Q_z = V_p \cdot \rho \cdot c \cdot (t_p - t_i) \quad [\text{W}], \quad (1.1)$$

kde V_p je celkový objemový průtok přiváděného vzduchu [m^3/s], ρ – hustota vzduchu (přibližně konstantní) = 1,2 [kg/m^3], c – měrná tepelná kapacita vzduchu = 1 010 [$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$], $(t_p - t_i)$ – pracovní rozdíl teplot [°C].

Celkový objemový průtok vzduchu V_p je dán součtem průtoku vzduchu venkovního V_e a vzduchu oběhového V_{ob} . Z rovnice (1.1) je patrné, že tepelný tok závisí jak na průtoku vzduchu, tak na pracovním rozdílu teplot.

Intenzita větrání

Průtok venkovního vzduchu definuje intenzita větrání, která udává, kolikrát za hodinu (odtud jednotka $\text{h}^{-1} = 1/\text{h}$) se v objemu větraného prostoru O [m^3] vymění čerstvý vzduch V_e [m^3/h]:

$$I = \frac{V_e}{O} \quad [\text{h}^{-1}]. \quad (1.2)$$

Intenzita větrání nesmí být zaměňována za intenzitu výměny vzduchu (což se často děje i v odborné literatuře, a dokonce v právních předpisech), což je poměr celkového objemového průtoku přiváděného vzduchu V_p k objemu vnitřního větraného prostoru O :

$$I_p = \frac{V_p}{O} = \frac{V_e + V_{ob}}{O} \quad [\text{h}^{-1}]. \quad (1.3)$$

Intenzita výměny vzduchu sama o sobě tedy neposkytuje informaci o průtoku větracího (čerstvého) vzduchu.

Vnitřní prostředí obytných budov

Vnitřní prostředí charakterizuje řada fyzikálních, chemických a biologických parametrů, které působí na fyzický i psychický stav člověka. Společný účinek skupiny specifických parametrů pak vyjadřuje tepelný a vlhkostní stav prostředí, čistotu (kvalitu) ovzduší, akustiku prostředí nebo kvalitu osvětlení. Tématem knihy je větrání obytných budov, proto je další text zaměřen na parametry, které s větráním souvisejí, tj. především na tepelný a vlhkostní stav prostředí a kvalitu ovzduší.

Obecných důvodů pro úpravu stavu prostředí je několik – jsou to důvody hygienické, technologické, biologické i bezpečnostní (požární). V obytném prostředí jsou to především důvody hygienické, které definují požadavky na stav prostředí z hlediska potřeby člověka. Vnitřní prostředí budov je zatíženo produkcí tepla, vlhkosti a chemických látek, které ovlivňují teplotu, vlhkost a koncentraci znečišťujících látek v ovzduší.

2.1 Tepelný a vlhkostní stav prostředí

Tepelný a vlhkostní stav prostředí (mikroklima) je soubor veličin, které ovlivňují výsledný fyzický a duševní stav člověka. Úkolem zařízení upravujících tepelný stav prostředí (vytápění, klimatizace) je vytvoření optimálních hodnot těchto veličin k zajištění tepelné pohody člověka, což je subjektivní pocit, při němž je zachována tepelná rovnováha za optimálních fyziologických podmínek (teplota pokožky a maximální tepelný tok odváděný vypařováním). Tepelná rovnováha je stav, při němž je zachována rovnost mezi produkovaným tepelným tokem a tokem tepla, který je tělu odnímán (konvekcí, sáláním, dýcháním, vypařováním a vedením).

Tepelnou pohodu určují následující veličiny, charakterizující tepelný stav prostředí:

- ▶ teplota vzduchu t_a ,
- ▶ střední radiační teplota t_r ,
- ▶ rychlost proudění w ,
- ▶ intenzita turbulence T_u ,
- ▶ relativní vlhkost vzduchu φ ;

a dále veličiny charakterizující stav člověka:

- ▶ intenzita lidské činnosti (aktivita),
- ▶ tepelný odpor oděvu;

mimo to tepelnou pohodu ovlivňují další nezávislé faktory, jako je pohlaví, stáří nebo zdraví člověka.

Teplota vzduchu t_a se pohybuje v rozmezí 22 °C (v zimě) až 26 °C (v létě). Obytné budovy by měly být stavěny tak, aby nebylo nutné vnitřní vzduch v létě strojně chladit. K tomuto účelu se využívají různé tzv. pasivní způsoby chlazení jako například využití stavebních hmot s vysokou akumulační schopností, použití venkovních žaluzií pro stínění proti slunečnímu záření apod. V případě využití klimatizace pro chlazení v létě nemá maximální rozdíl mezi teplotou venkovního vzduchu a vzduchu ve vnitřním klimatizovaném prostředí přesáhnout 6 °C.

Střední radiační teplota t_r je definována jako společná teplota všech okolních ploch, při které by bylo celkové množství tepla sdílené sáláním mezi povrchem těla a okolními plochami stejné jako ve skutečnosti. Hodnota střední radiační teploty může být v prostoru proměnná podle polohy určujícího místa. V zimním období ovlivňují střední radiační teplotu t_r v obytném prostředí především chladné okenní povrchy, neizolované podlahy apod.

Rychlost proudění w v pásmu pobytu osob v obytném prostředí bývá zpravidla v rozmezí 0 až 0,2 m/s. S rychlostí proudění vzduchu, resp. s její změnou v čase, souvisí intenzita turbulence T_u (více viz Drkal a Zmrhal [5]).

Relativní vlhkost vzduchu φ [%] je veličina závislá na hmotnostním obsahu vodních par ve vzduchu (měrné vlhkosti x [g/kg_{s.v.}] = gramů vodních par v 1 kg suchého vzduchu) a teplotě vzduchu. Relativní vlhkost udává, do jaké míry je vzduch nasycen vodními parami.

V české literatuře se často doporučuje udržovat relativní vlhkost v obytném prostředí v rozmezí 30 až 50 %. Je však známo, že vnímání vlhkosti je čistě subjektivní záležitostí každého jedince. Relativní vlhkost vyšší než 50 % může v obytném prostředí způsobovat v zimním období problémy s kondenzací vodní páry na chladných plochách (okna, tepelné mosty) spojené s tvorbou plísní. Co se týče spodní hranice relativní vlhkosti v obytném prostoru, z hygienického pohledu neexistují jednoznačně definovaná omezení. Dle normy ČSN EN 15251 má relativní vlhkost vzduchu jen malý vliv na tepelný pocit a vnímanou kvalitu vzduchu osob ve vnitřním prostředí. Zároveň však norma uvádí, že dlouhodobě vysoká vnitřní relativní vlhkost je příčinou růstu mikroorganismů a velmi nízká relativní vlhkost (<15 až 20 %) může způsobovat suchost a podráždění očí i dýchacích cest. Experimenty opakovaně potvrzují skutečnost, že lidé nejlépe vnímají vzduch suchý a chladný. Teplejší a vlhčí vzduch bývá

pocitován jako vzduch více znečištěný, i když se jedná o čistý vzduch bez škodlivin [7]. Studie zabývající se touto problematikou ukazují, že lidé sice mohou v některých případech nízkou relativní vlhkost vnímat negativně, není to však běžné. Subjektivní hodnocení kvality vzduchu naopak jednoznačně prokázala problematické působení vyšší relativní vlhkosti, zejména ve spojení s vyšší teplotou vzduchu. Výzkum zaměřený na vliv velmi nízké relativní vlhkosti na pohodu přítomných osob neprokázal souvislost mezi nízkou relativní vlhkostí (pod 10 %) a zdravotními aspekty, jako jsou suchost sliznic, podráždění očí apod. Bylo zjištěno, že důvodem pro výskyt těchto symptomů bylo nedostatečné větrání, nikoliv však vlhkost jako taková [27], [8], [23].

2.1.1 Celkové hodnocení tepelného stavu prostředí

Souhrnně lze tepelný stav prostředí hodnotit podle následujících dvou veličin.

Výsledná teplota t_g je teplota, které dosáhne kulový teploměr (kulová baňka z plechu natřeného černou matnou barvou, v níž je umístěno teplotní čidlo) po ustálení, kdy sálavý tepelný tok z prostředí do kulové baňky je v rovnováze s konvekčním tepelným tokem z povrchu koule do prostředí. Kulový teploměr umožňuje stanovit střední radiační teplotu t_r .

Operativní teplota t_o zahrnuje společný vliv teploty vzduchu t_a , střední radiační teploty t_r a rychlosti proudění w . Pro rychlosti proudění $w < 0,2$ m/s se vliv rychlosti proudění zanedbává a operativní teplotu lze stanovit jako aritmetický průměr t_a a t_r :

$$t_o = \frac{t_a + t_r}{2} \text{ [}^\circ\text{C]}. \quad (2.1)$$

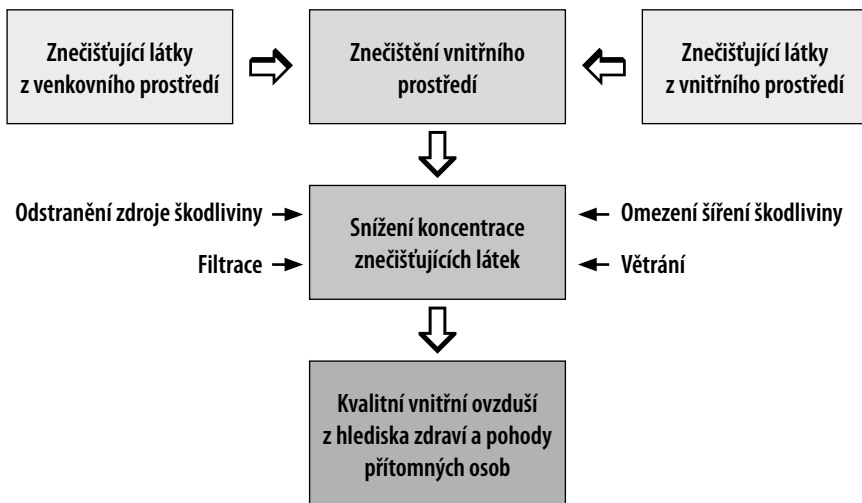
Odchylky mezi operativní a výslednou teplotou lze očekávat v oblasti $w < 0,2$ m/s. Výpočet dle (2.1) uvažuje pro $0 < w < 0,2$ m/s konstantní operativní teplotu. Naproti tomu součinitel přestupu tepla konvekcí na kulovém teploměru je závislý od rychlosti $w > 0,1$ m/s na rychlosti proudění vzduchu. Čím jsou větší rozdíly mezi teplotou vzduchu a střední radiační teplotou, tím se zvětšuje rozdíl mezi operativní a výslednou teplotou (více Zmrhal, Drkal a Mathausarová [30]).

2.2 Čistota ovzduší

Čistota (kvalita) vnitřního ovzduší je ovlivněna zdroji znečišťujících látek z vnitřního i venkovního prostředí. Podle uplatněné metody větrání jsou znečišťující látky odstraňovány (odsáváním), nebo ředěny (celkovým větráním). V procesu větrání a odsávání se uplatní i omezování šíření znečišťujících látek a filtrace vzduchu (obr. 3).

Venkovní vzduch přiváděný větráním do vnitřního prostředí obsahuje vždy určité množství znečišťujících látek – tuhých částic (inertních, chemicky i biologicky aktivních), plynů a par (inertních i chemicky aktivních).

V praxi při přirozeném větrání proudí do větraných prostorů venkovní nefiltrovaný vzduch. U nuceného větrání se vždy požaduje filtrace tuhých částic; filtrace chemických příměsí pro bytové větrání není nutná, resp. by neměla být nutná – tam, kde je riziko výskytu chemických látek v ovzduší, by se neměly nacházet obytné domy. V obdobích, kdy dochází vlivem meteorologických podmínek k nadměrnému zvýšení koncentrací znečišťujících látek, doporučuje se přirozené větrání omezit.



| Obr. 3 Úprava čistoty vnitřního ovzduší [32]

2.2.1 Znečišťující látky z vnitřního prostředí

Ve vnitřním prostředí se uvolňují znečišťující látky z povrchu stavebních materiálů, nábytku, ale i z povrchu osob a z jejich činnosti (vaření, úklid aj.). Mezi nejvýznamnější znečišťující látky v obytném prostředí patří:

- ▶ vodní pára,
- ▶ oxid uhličitý,
- ▶ oxid uhelnatý,
- ▶ pachy (oděry),
- ▶ cigaretový kouř,
- ▶ těkavé organické látky VOC atd.

Zatímco u některých znečišťujících látek je jejich negativní účinek na zdraví člověka dobře znám (radon, cigaretový kouř, formaldehyd), objevuje se celá řada nových, převážně chemických sloučenin, u nichž mechanismus působení na člověka nebyl z dlouhodobého pohledu zcela objasněn.

Vodní pára

Vodní pára je ve vnitřním prostředí považována za škodlivinu, přestože je přirozenou součástí vzduchu, a tím i vnitřního prostředí. Při nedostatečném odvodu vodní páry může docházet k její kondenzaci v oblasti tepelných mostů či chladnějších částí obvodového pláště budovy. Tento jev je prokazatelně spojován s nepříznivými vlivy na vnitřní prostředí. Negativní působení vyšší vlhkosti ve vnitřním prostředí se projeví, pokud je teplota povrchu konstrukcí nižší než teplota rosného bodu vnitřního vzduchu. Jak již bylo naznačeno v úvodu knihy, může v takových případech docházet ke vzniku plísní, v krajním případě může vlhnutí konstrukce vést až k narušení zdiva či konstrukce domu. Jako maximální hodnota ve vnitřním prostředí je většinou doporučována hranice 70 % relativní vlhkosti. Z hygienického hlediska lze sice připustit krátkodobou kondenzaci vodní páry například na zasklení, avšak zcela nepřijatelná je kondenzace vodní páry na površích a uvnitř stavebních konstrukcí (zdivu). Z tohoto důvodu se tepelnětechnické výpočty realizují zpravidla pro 50% relativní vlhkost vzduchu ve vnitřním prostředí, která bývá uváděna také jako limitní hodnota pro zvýšené riziko výskytu mikroorganismů [11]. Vlhčení a odvlhčování vnitřního vzduchu obvykle nebývá v obytném prostředí vyžadováno. Pokud se používá, je nutné dodržet doporučené hodnoty pro jeho návrh i provoz, aby nedocházelo k přílišnému přívodu vlhkosti do interiéru [42].

Vlhkost ve vnitřním prostředí obytných budov je spojena s přítomností osob a jejich činnostmi. Produkci vodní páry pro různé druhy lidské činnosti uvádí norma ČSN EN 15665 (*tab. 1*). Významným zdrojem jsou i samotní uživatelé – při celodenní přítomnosti většího počtu osob jde o základní položku ve vlhkostní bilanci. Co se týče činností obyvatel bytu, významná je zejména produkce vodní páry při praní a sušení prádla ve vnitřních prostorách bytu, dále sprchování a příprava jídla. Vodní pára vznikající přípravou pokrmů (vařením) je zahrnuta v položkách snídaně, svačina, oběd. Při vaření na plynovém sporáku vzniká navíc vodní pára spalováním zemního plynu. Hodnota uvedená v normě ČSN EN 15665 [43] udává produkci vodní páry za den, i když ve skutečnosti bude spotřeba plynu záviset i na počtu osob v domácnosti.

Bilance vlhkosti v obytném prostoru

Na základě hodnot uvedených v *tabulce 1* byla stanovena průměrná produkce vodní páry během všedního dne pro čtyřčlennou rodinu. Předpokládá se, že osoby

Tab. 1 Produkce vodní páry pro různé činnosti podle ČSN EN 15665

Činnost	Produkce vodní páry	
Vodní pára – bdělé osoby	55	g/h na osobu
Vodní pára – spící osoby	40	g/h na osobu
Snídaně	50	g/osoba
Svačina	75	g/osoba
Oběd	300	g/osoba
Vaření na plynovém sporáku	350	g/den
Sprcha	300	g/sprcha
Praní/sušení ve vnitřním prostředí	1 200	g/praní
Četnosti jednotlivých činností		
Četnost sprchování	1	sprcha / osoba a den
Četnost praní	1	praní / osoba a týden

jsou přítomny v obytném prostoru celkem 14 hodin, z toho 8 hodin denně tráví ve spánku. Celková produkce vodní páry během všedního dne činí cca 5 336 g/den.

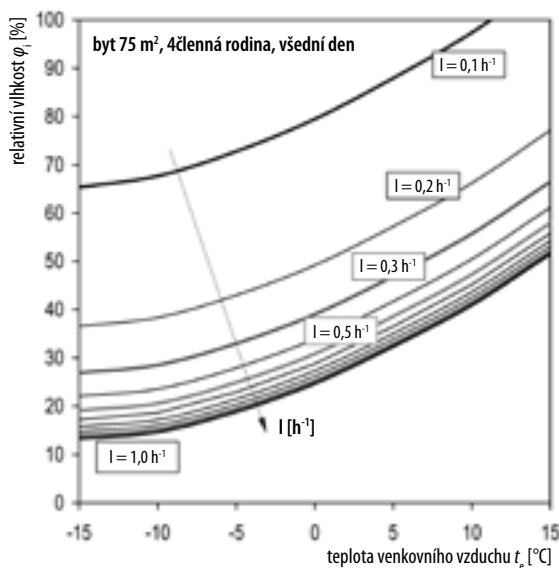
Na základě vlhkostní bilance větraného prostoru pro trvalé větrání lze stanovit výslednou relativní vlhkost v obytném prostředí při daném vývinu vodní páry. Pro výpočet vlhkostní bilance byl použit modelový byt o celkové ploše 75 m² a výšce 2,6 m obývaný čtyřčlennou rodinou během všedního dne (běžný režim domácnosti). Teplota vnitřního vzduchu $t_i = 20$ °C. Měrná vlhkost přiváděného vzduchu je shodná s měrnou vlhkostí venkovního vzduchu (nepředpokládá se vlhčení venkovního vzduchu). Pro výpočet byla použita data uvedená v publikaci J. Chyského [4] (tab. 2). Teplota vnitřního vzduchu byla při analýzách uvažována 20 °C. Produkce vodní páry byla uvažována konstantní během celého dne, v modelu není zahrnuto nárazové větrání (odvod vzduchu) v místě produkce – v kuchyni, koupelně. Zjištěné závislosti odpovídají situaci, kdy je veškerá vlhkost odváděna trvalým větráním.

Tab. 2 Parametry venkovního vzduchu (upraveno podle [4])

Teplota venkovního vzduchu t_e [°C]	-15	-10	-5	0	5	10	15
Relativní vlhkost φ_e [%]	90	70	70	70	69	65	61
Měrná vlhkost x_e [g/kg _{su}]	1,07	1,25	1,84	2,67	3,77	5,00	6,54

Výsledky na *obrázku 4* ukazují závislost relativní vlhkosti vzduchu ve vnitřním prostředí zkoumaného bytu na teplotě venkovního větracího vzduchu (s odpovídající relativní vlhkostí, viz *tab. 2*) pro různé intenzity větrání, ustálené větrání a ustálený vývin vodní páry. Výsledky odpovídají danému bytu obývanému čtyřmi osobami během všedního dne. Z grafu na *obrázku 4* je patrné, že při nízké intenzitě větrání $0,1 \text{ h}^{-1}$ ve všední den v zimním období je relativní vlhkost vnitřního vzduchu vysoká (65 až 100 %). Jak je vidět, pro běžný byt obydlený čtyřčlennou rodinou se jeví vhodné udržovat intenzitu větrání v rozmezí $0,3$ až $0,5 \text{ h}^{-1}$ (vztaženo k celkovému vnitřnímu objemu obytného prostoru). Z příkladu je zřejmé, že k poklesu relativní vlhkosti pod 30 % při intenzitě větrání $0,3 \text{ h}^{-1}$ dochází při teplotách nižších než $-10 \text{ }^\circ\text{C}$, tedy po omezenou část roku (celkem 4 dny v roce). S rostoucí intenzitou větrání je produkovaná vlhkost z vnitřního prostředí rychle odváděna a relativní vlhkost v bytě klesá. Rozdíly výsledné relativní vlhkosti vzduchu pro intenzitu větrání $0,7$ až 1 h^{-1} jsou již minimální.

V zimním období (při nízkých teplotách venkovního vzduchu) je relativní vlhkost vysoká – 90 až 100 %, ale obsah vodních par definovaný měrnou vlhkostí $x \text{ [g/kg}_{s,v}]$ je nízký – vzduch je suchý. Relativní vlhkost venkovního vzduchu přiváděného do vnitřního prostředí se po ohřátí snižuje a dosahuje nízkých hodnot. Při intenzivním



Obr. 4 Dosažená relativní vlhkost vzduchu ve zkoumaném bytě pro čtyřčlennou rodinu (všední den, $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$)

větrání v prostoru bez výrazných zdrojů vlhkosti může relativní vlhkost vnitřního vzduchu klesnout pod 30 %. Pokles relativní vlhkosti vzduchu pod 30 % však nemusí vždy znamenat zásadní problémy (viz *kapitolu 2.1*), i když mezi laickou veřejností koluje v tomto směru řada mýtů.

Jak naznačují uvedené analýzy, ke zvlhčování vzduchu dochází v obytném prostoru běžnou lidskou činností (vaření, sušení prádla, provoz chladničky, ale také zalévání květin apod.). Pokud charakter prostoru (použitý nábytek, dřevěné podlahy apod.) nebo uživatelé vyžadují vyšší vlhkost (30 až 50 %), je možné využít větrací zařízení s výměníky, které umožňují i zpětné získávání vlhkosti (viz *kapitolu 5.2*).

Oxid uhličitý CO₂

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, běžně se vyskytující ve vzduchu. Venkovní koncentrace závisí na stupni urbanizace v dané oblasti a případně i na denní době. V literatuře najdeme rozmezí 300 až 450 ppm (koncentrace 1 ppm = 10⁻⁴ % obj.), vyšší hodnoty se týkají více znečištěných oblastí. Měření z poslední doby však ukazují, že hodnoty pod 380 ppm se již na Zemi nevyskytují. Výsledky měření z ostrova Mauna Loa (Havaj), který je považován za místo reprezentující čisté venkovní prostředí, již od roku 2007 neklesly pod hranici 380 ppm. Koncentrace CO₂ měřené v roce 2010 se pohybovaly okolo 385 ppm.

Zdrojem oxidu uhličitého jsou především spalovací a metabolické procesy. Produkce metabolického CO₂ je definována jako funkce výšky, váhy a stupně fyzické aktivity osoby. Dle těchto parametrů se objemový tok CO₂ produkovaného lidmi mění od cca 4 do 26 l/h na osobu. Nejmenší hodnota odpovídá produkci spícího dítěte, nejvyšší dospělé osobě a vysokému stupni fyzické aktivity.

Tab. 3 Koncentrace CO₂ ve vnitřních prostorách budov

Koncentrace CO ₂	Účinky, výskyt
360–400 ppm	koncentrace čerstvého vzduchu v přírodě
800–1 000 ppm	doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorách
1 200–1 500 ppm	doporučená maximální (reálná) úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorách
nad 1 500 ppm	nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace, ospalost, letargie
do 5 000 ppm	maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
nad 5 000 ppm	negativní vliv na vnímání osob a výskyt syndromu nemocných budov
nad 10 000 ppm	prokázány zdravotní problémy
nad 40 000 ppm	životu nebezpečné i při krátkodobém působení