

MEZINÁRODNÍ AGENTURA PRO ENERGII  
Program pro úsporu energie v budovách  
a obecních systémech

**Technická zpráva AIVC 57**

**Větrání bytových domů**

**Peter Concannon**



© Copyright INIVE EEIG 2002

Veškerá vlastnická práva, včetně copyrightu, byla převedena na realizačního zástupce (INIVE EEIG), v zastoupení Mezinárodní agentury pro energii.

To znamená, že bez předchozího písemného svolení realizačního zástupce nesmí být žádná část této publikace kopírována, ukládána v systému, který umožňuje vyhledávání informací, nebo přenášena, v jakékoli formě nebo jakýmkoli prostředky, elektronickými, mechanickými, fotokopiemi, prostřednictvím jakýchkoli záznamů nebo jinak.

---

**Tato zpráva je součástí práce IEA Energy Conservation in Buildings & Community Systems Programme – Program pro úsporu energie v budovách a obecních systémech. Příloha V Centrum pro infiltraci vzduchu a větrání**

**Publikaci zpracoval na základě smlouvy:**

**Peter Concannon, FaberMaunsell Ltd.**

---

**Dokument AIC-TN57**

**ISBN \*\*\*\*\***

**Příloha V: Státy, které se podílely na vypracování:  
Belgie, Francie, Řecko, Nizozemsko, Norsko a USA.**

## Předmluva

Mezinárodní agentura pro energii

Mezinárodní agentura pro energii (International Energy Agency, IEA) byla ustavena v roce 1974 v rámci Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj (Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD), s cílem zavést mezinárodní energetický program. Základním cílem IEA je podporovat spolupráci mezi dvaceti čtyřmi zeměmi, které se podílejí na práci IEA, aby se zlepšily úspory energie pomocí energetických racionalizačních opatření, vývoje alternativních zdrojů energie a výzkumu, vývoje a prokazování (RD&D).

Úspora energie v budovách a obecních systémech

IEA sponzoruje výzkum a vývoj v celé řadě oblastí souvisejících s energií. V jedné z těchto oblastí – týkající se úspory energie v budovách – financuje IEA různé práce, které slouží k přesnější prognóze využívání energie v budovách, včetně srovnávání současných počítačových programů, monitorování budov, srovnávání výpočetních metod a také kvality vzduchu a studií chování obyvatel.

Výkonný výbor

Celkové řízení programu je v rukou výkonného výboru, který monitoruje stávající projekty, ale také vyhledává nové oblasti, do nichž by mohlo být vhodné v rámci spolupráce směřovat další úsilí.

K dnešnímu dni výkonný výbor inicioval následující projekty (dokončené projekty jsou označeny hvězdičkou \*):

- I Stanovení energetického zatížení budov \*
- II Ekologické a zdokonalené energetické systémy \*
- III Úspora energie v budovách pro bydlení \*
- IV Monitorování administrativní budovy v Glasgow \*
- V Centrum pro infiltraci vzduchu a větrání
- VI Energetické systémy a návrh společenství \*
- VII Plánování spotřeby energie v rámci místní správy \*
- VIII Chování obyvatel pokud se týká větrání \*
- IX Minimální objem výměny vzduchu větráním \*
- X Simulace systémů TZB v budovách \*
- XI Energetické audity \*
- XII Okna a rozmístění oken \*
- XIII Hospodaření energií v nemocnicích\*
- XIV Kondenzace \*
- XV Efektivní hospodaření energií ve školách\*
- XVI BEMS – 1: Postupy řízení spotřeby energie \*
- XVII BEMS – 2: Techniky vyhodnocení a porovnávání \*
- XVIII Systémy větrání, řízené na základě požadavků \*
- XIX Střešní systémy o malém spádu \*
- XX Vzorce pro proudění vzduchu v budovách \*
- XXI Modelování teploty \*
- XXII Energeticky efektivní společenství \*
- XXIII Multizónní modelování proudění vzduchu (COMIS)\*
- XXIV Přenos teplého vzduchu a vlhkosti v uzavřených prostorech \*
- XXV Simulace HEVAC v reálném čase \*
- XXVI Energeticky efektivní větrání velkých objektů \*

XXVII	Vyhodnocení a demonstrace větracích systémů obytných budov *
XXVIII	Nízkoenergetické chladicí systémy *
XXIX	Denní světlo v budovách *
XXX	Od simulace k aplikaci *
XXXI	Vliv na prostředí budov v souvislosti se spotřebou energie
XXXII	Komplexní hodnocení účinnosti obvodového pláště budov *
XXXIII	Zdokonalené lokální plánování spotřeby energie*
XXXIV	Vyhodnocení chování systémů HVAC s využitím počítačů *
XXXV	Návrh energetického hybridního větrání (HYBVENT)
XXXVI	Rekonstrukce školních budov
XXXVII	Nízkoenergetické systémy pro vytápění a chlazení (klimatizaci) budov
XXXVIII	Bytové domy využívající sluneční záření
XXXIX	Vysoce účinné izolační systémy (HiPTI)
XXXX	Systémy HVAC uvádění do provozu – při zdokonalené energetické účinnosti

#### Příloha V: Centrum pro infiltraci vzduchu a větrání (Air Infiltration and Ventilation Centre, AIVC)

Projekt Centra pro infiltraci vzduchu a větrání byl vyhlášen na základě jednohlasné shody výkonného výboru na tom, že je nutné lépe pochopit důsledky výměny vzduchu na spotřebu energie a kvalitu vzduchu v interiéru. Cílem centra je zlepšit pochopení komplexního průběhu proudění vzduchu v budovách, a tím umožnit efektivní aplikaci příslušných opatření zaměřených na úsporu energie, jak při projektech nových budov, tak při zlepšování kvality stávajících objektů.

Na tomto úkolu se podílela Belgie, Francie, Řecko, Nizozemsko, Norsko a USA.

#### Zproštění odpovědnosti

AIVC zpracovala tuto publikaci s velkou pečlivostí. Přesto však AIVC neposkytuje záruku, že informace obsažené v této publikaci jsou bezchybné. Proto nepřijímá žádnou odpovědnost v případě jakýchkoli stížností nebo žalob, které by mohly vzniknout na základě informací, které jsou v této publikaci uvedeny. Veškerá rizika, která mohou vyplýnout z informací obsažených v této publikaci, přebírá uživatel.

## Shrnutí

Větrání je nutné k tomu, aby bylo zajištěno odstraňování, případně snižování, koncentrací znečišťujících látek, a kromě toho samozřejmě z důvodu přísunu kyslíku pro obyvatele. Navíc může být větrání zdrojem kyslíku pro topidla, v nichž dochází ke spalování, a v letním období také slouží jako prostředek chlazení.

Odhaduje se, že v zemích OECD se spotřebuje kolem 28 EJ energie v obytných budovách, z toho 12 EJ souvisí s větráním. Z výpočtů vyplývá, že by se dala snížit tato spotřeba energie související s větráním na méně než 1 EJ. Proto je důležité zajistit, aby potřeba větrání v obytných prostorách splňovala požadavky na minimální spotřebu energie.

Pro zajištění větrání v obytných budovách se využívá celá řada systémů. Každý systém má své výhody a své nevýhody, a proto použití každého jednotlivého systému závisí na celé řadě místních faktorů, jako je podnebí a platné normy.

Práce realizovaná jako součást přílohy 27 dokládá, že přirozené větrání zůstává v zemích OECD nejběžnějším způsobem větrání. Země v pásmu chladného podnebí mají mnohem přísnější přístup k požadavkům na vzduchotěsnost budov a dávají přednost systémům větrání, které nabízejí dobrou kontrolu, jako jsou rovnotlaké (balanced) systémy nuceného větrání s rekuperací tepla. Mírnější klimatické podmínky dávají přednost systémům větrání, které podléhají nižší kontrole, obvykle systémům přirozeného větrání. V současné době se však objevuje tendence snižovat spotřebu energie využitím důkladněji kontrolovaných metod větrání.

Způsob větrání a teplotní normy budou mít významný vliv na spotřebu energie, ke které dochází v systémech větrání. Normy zabývající se větráním se obvykle zaměřují na minimální větrání z důvodů látkové výměny obyvatel a na odstranění hlavních látek znečišťujících vnitřní prostředí, jako je vlhkost. Teplotní normy se zaměřují na ztráty, ke kterým dochází vedením v obvodových konstrukcích, na výkonnost vytápěcích a chladicích zařízení a na ztráty způsobené infiltrací.

Infiltrace může mít negativní vliv jak na spotřebu energie, tak na účinnost větrání, a to jak z hlediska kvality vnitřního vzduchu, tak tepelné pohody. Každá z metod větrání funguje maximálně efektivně, pokud jsou obvodové konstrukce budovy navrženy tak, aby splňovaly požadavky na vzduchotěsnost, které jsou pro zvolenou metodu větrání nevhodnější.

Záměru snižovat spotřebu energie nesmí být obětována kvalita vnitřního vzduchu. Existuje velký počet znečišťujících látek, které pocházejí ze stejně velkého počtu zdrojů. Nejeftivnějším způsobem, jak se vyhnout problémům, je regulace mnoha externích zdrojů znečištění a také některých interních zdrojů znečištění. Ostatní zdroje znečištění lze vyloučit vhodnou specifikací a projekčním řešením. Pro další zdroje, které nelze zcela vyloučit, jako je například vznik vlhkosti, představuje jedinou alternativu snížení jejich koncentrace prostřednictvím větrání.

Na spotřebu energie má rozhodující vliv chování obyvatel. Z šetření uvedených v příloze 8 je zřejmé, že obyvatelé používají větrání okny se záměrem ovlivnit kvalitu vzduchu v interiéru a tepelnou pohodu, přičemž se vědomě téměř nepokoušejí minimalizovat spotřebu energie. Z dalších studií vyplývá, že existuje korelační závislost mezi zdravotními problémy a neuspokojivým systémem větrání. Z výpočtů vyplývá, že skutečnost, že obyvatelé otevírají okna, může zvýšit průměrnou rychlost výměny vzduchu o 0,32 ach při systémech přirozeného větrání a o 0,34 ach u systémů nuceného větrání, zatímco studie provedené v Japonsku dokládají, že až 87 % celkové výměny vzduchu je ovlivněno chováním obyvatel. Technická zpráva AIVC 53 uvádí celý soubor rad pro obyvatele, jak zajistit dobrou kvalitu vnitřního vzduchu a tepelnou pohodu, aniž by to vyžadovalo nadměrnou spotřebu energie.

Mezi další okolnosti, které je třeba brát v úvahu při navrhování systémů větrání, patří bezpečnost, možnost vyloučit externí znečišťující látky a opětovné nasávání odváděného vzduchu, dále hluk, vzhled, možnosti stavební konstrukce, spolehlivost a náklady.

Uvádění do provozu není u systémů větrání v obytných budovách v současné době docela běžnou záležitostí, ale mohlo by mít významný dopad na účinnost systému. Švédská procedura Boverket představuje jediný praktický postup, který se v současnosti používá na kontrolu těchto systémů. Probíhají však další práce, v Evropě jako součást programu European Commission's Joule (TIPVENT) a v USA Skupinou pro efektivnost využití energie v budovách (Energy Performance of Buildings Group) v Berkeley Laboratories.

# Obsah

Předmluva	iii
Shrnutí	v
Obsah	vii
<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Systémy větrání</b>	<b>3</b>
2.1 Úvod	3
2.2 Přirozené větrání	3
2.2.1 Hnací síly	3
2.2.2 Větrání okny	4
2.2.3 Účelově navržené	5
2.2.4 Pasivní odtah	5
2.3 Nucené větrání	6
2.3.1 Nucený odtah	6
2.3.2 Nucený přívod vzduchu	6
2.3.3 Rovnotlaké (balanced)	7
2.4 Výskyt jednotlivých typů systémů	7
2.5 Vzduchotěsnost budov	9
2.5.1 Netěsná místa, v nichž dochází k prostupu vzduchu	9
2.5.2 Vliv prostupu vzduchu	10
2.5.3 Stupeň vzduchotěsnosti vhodný pro různé systémy větrání.	11
2.6 Normy týkající se větrání	11
2.7 Vliv podnebí	12
2.8 Inovační systémy	15
2.8.1 Rekuperace tepla v kombinaci s rovnotlakými nucenými systémy	15
2.8.2 Větrací otvory pro přirozené větrání ovlivňované tlakem	16
2.8.3 Kontrola na základě požadavků	17
2.8.4 Rekuperace tepla z pasivního vertikálního odtahu	17
2.8.5 Přirozené větrání s pomocným nasáváním	17
<b>3 Důsledky větrání na spotřebu energie</b>	<b>19</b>
3.1 Spotřeba energie v souvislosti s větráním	19
3.2 Vliv vzduchotěsnosti	20
3.3 Vliv podnebí	20
3.4 Normy	22
3.4.1 Normy týkající se spotřeby energie (energetické normy)	22
3.4.2 Normy týkající se tepelných izolací	24
3.4.3 Normy týkající se vzduchotěsnosti	24
3.5 Vzájemné působení ostatních systémů na systémy vytápění a chlazení	27
3.6 Ekonomické vlivy	27
<b>4 KVAVLITA VNITŘNÍHO VZDUCHU</b>	<b>28</b>
4.1 Znečišťující látky vznikající uvnitř budov	28
4.2 Znečišťující látky z vnějšího prostředí	29
4.3 Kontrola znečišťujících látek	30
4.3.1 Snížení koncentrace nebo kontrola zdroje	30
4.3.2 Znečišťující látky z vnějšího prostředí	31
4.3.3 Znečišťující látky vznikající v interiéru budovy	31

4.4	Normy pro kvalitu vnitřního vzduchu	32
<b>5</b>	<b>Spolupůsobení obyvatel</b>	<b>34</b>
5.1	Sledované jednání obyvatel, ovlivňující systémy větrání a jejich kontrolu	34
5.1.1	Důvody pro větrání a naopak pro nevětrání, jak je uvádějí obyvatelé	34
5.1.2	Použití oken	34
5.1.3	Použití systému pasivního odtahu (Passive Stack Ventilation, PSV)	34
5.1.4	Použití systému nuceného větrání	34
5.1.5	Použití rovnotlakých systémů nuceného větrání	35
5.1.6	Použití „automatických“ kontrol	35
5.1.7	Ostatní výzkumy	36
5.2	Vliv obyvatel na celkové větrání a rychlost výměny vzduchu	36
5.3	Vliv obyvatel na spotřebu energie	37
5.4	Vzdělávání obyvatel	37
5.5	Rady pro obyvatele	37
<b>6</b>	<b>Další problémy při projektování</b>	<b>40</b>
6.1	Bezpečnost	40
6.2	Umístění vstupních/výstupních větracích otvorů	40
6.2.1	Opětné nasávání	40
6.2.2	Znečištění	40
6.3	Tepelná pohoda	41
6.4	Hluk	42
6.4.1	Vnější hluk z okolí budovy	43
6.4.2	Hlučnost systému větrání	43
6.4.3	Přenos zvuku v rámci bytu a mimo byty	44
6.5	Vzhled	44
6.6	Konstrukce	44
6.7	Spolehlivost	45
6.7.1	Počasí	45
6.7.2	Hromadění prachu	45
6.7.3	Závady jednotlivých komponentů	46
6.7.4	Vliv lidského faktoru	47
6.8	Náklady za dobu životnosti	47
<b>7</b>	<b>Uvádění do provozu</b>	<b>48</b>
7.1	Obvodový plášť budovy	48
7.2	Systémy rozvodu vzduchu	49
7.3	Zpětný tah	49
7.4	Kontroly	50
7.5	Problémy s vnitřním prostředím	50
	<b>Literatura</b>	<b>53</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Únik energie dodávané za účelem temperování prostoru v bytových a občanských stavbách	1
Obrázek 2.1: Tok vzduchu vyvolaný větrem	3
Obrázek 2.2: Tok vzduchu vyvolaný tahem	4
Obrázek 2.3: Relativní dominance působení větru a hnací síly vytvářené tahem	4
Obrázek 2.4: Typická konfigurace větracího systému s pasivním odtahem	5
Obrázek 2.5: Typická konfigurace systému nuceného odtahu	6
Obrázek 2.6: Typická konfigurace rovnotlakého nuceného systému větrání s rekuperací tepla	7
Obrázek 2.7: Hlavní cesty prostupu vzduchu v bytových domech	10
Obrázek 2.8: Doporučené vhodné úrovně vzduchotěsnosti	11
Obrázek 2.9: Inovační tepelné čerpadlo a jednotky pro rekuperaci tepla	15
Obrázek 2.10: Konstantní rychlost toku při přirozeném větrání	16
Obrázek 2.11: Závislost rychlosti výměny vzduchu větráním na tlaku	16
Obrázek 2.12: Přirozené větrání aktivované nasáváním	18
Obrázek 3.1: Spotřeba primární energie v jednotlivých sektorech hospodářství	19
Obrázek 3.2: Dodávaná energie využitá koncovými uživateli v sektorech bydlení a služeb	19
Obrázek 3.3: Potenciální úspory dodávané energie pro bytové a občanské stavby	20
Obrázek 3.4: Vliv podnebí na roční požadavky na spotřebu energie na vytápění	21
Obrázek 3.5: Požadavky na spotřebu energie v různých lokalitách	22
Obrázek 6.1: Vztah PPD a PMV	42
Obrázek 6.2: Zvýšení teploty vzduchu v závislosti na rychlosti jeho proudění	42
Obrázek 6.3: Porovnání rychlosti průtoku skrze koncové zařízení vývodu vzduchu v bytových domech, před provedením čištění a po něm	45
Obrázek 6.4: Rychlost proudění vzduchu výstupním (výdechovým) koncovým prvkem před provedením čištění a po něm	46

## Seznam tabulek

Tabulka 2.1: Použité větrací systémy ve stávajících bytových budovách	8
Tabulka 2.2: Použité větrací systémy v nově stavěných bytových domech	9
Tabulka 2.3: Normy pro větrání v obytných domech	13
Tabulka 3.1: Normy, týkající se spotřeby energie (energetické normy)	23
Tabulka 3.2: Normy týkající se tepelných izolací – čísla představují U-hodnoty ve $W/m^2K$	24
Tabulka 3.3: Normy týkající se vzduchotěsnosti	24
Tabulka 4.1: Směrnice udávající dobu expozice pro jednotlivé látky	33
Tabulka 5.1: Zjištěné trendy otevírání oken	35
Tabulka 5.2: Činnost obyvatel – kvalita vnitřního vzduchu	37
Tabulka 5.3: Činnost obyvatel – tepelná pohoda	38
Tabulka 5.4: Směrnice pro účinné větrání bytů	39
Tabulka 6.1: Významnost hluku	43
Tabulka 6.2: Předpokládaná životnost a náklady na údržbu jako procentní podíl nákladů na pořízení	46

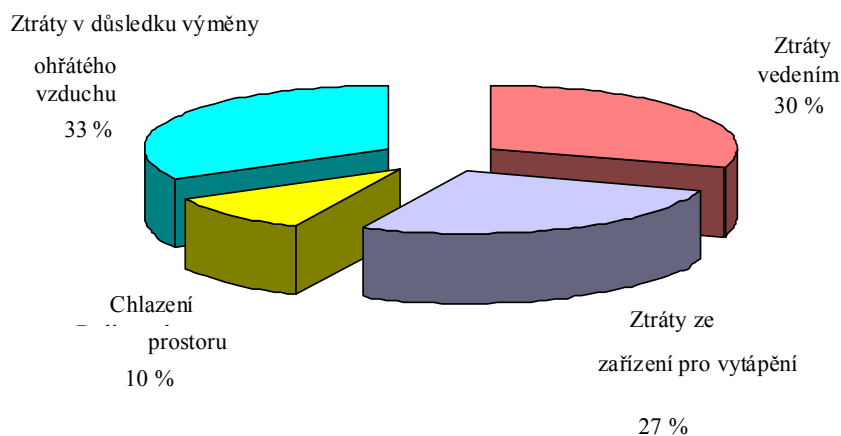


# 1 Úvod

Větrání je výměna vydýchaného a znečištěného vzduchu za čerstvý, relativně čistý vzduch (obvykle z vnějšího prostředí). K této výměně vzduchu může docházet náhodnými prostupy v důsledku netěsností stavební konstrukce (což se obvykle označuje jako infiltrace) nebo účelově vybudovanými cestami (což se obvykle označuje jako větrání).

Větrání je nutné z celé řady důvodů: má odstranit znečišťující látky z prostředí interiéru, poskytnout dostatek kyslíku pro zařízení, v nichž probíhá spalování, a poskytnout kyslík nutný pro lidský metabolismus.

V průběhu větrání dochází k přenosu tepla z budovy do vnějšího prostředí. Odhaduje se, že ztráty způsobené větráním představují ve třinácti (13) zemích OECD asi 33 % v objektech bytové a občanské výstavby.



Obrázek 1.1: Únik energie dodávané za účelem temperování prostoru v bytových a občanských stavbách

Je zřejmé, že zde vzniká konflikt mezi větráním jako zdrojem čerstvého vzduchu a nutností minimalizovat spotřebu energie.

Tato technická zpráva (Technical Note) je proto zaměřena na informace o systémech větrání v obytných domech a na způsobech jejich uplatnění, umožňujících plnit konfliktní požadavky na potřebu přívodu čerstvého vzduchu a minimalizovanou spotřebu energie.

Kromě spotřeby energie a kvality vnitřního vzduchu je zde zmiňována interakce obyvatel s funkcí systému větrání, bezpečnost, umístění větracích otvorů, pohoda, hluk, vzhled, spolehlivost a uvádění do provozu.



## 2 Systémy větrání

### 2.1 Úvod

V současné době se používá celá řada systémů, které zabezpečují větrání v obytných budovách. Každý systém má své výhody a nevýhody, a proto použitelnost každého z nich závisí na řadě lokálních faktorů, jako jsou podnebí nebo místní platné normy.

Ve všech případech je větrání nutné jako zdroj kyslíku pro obyvatele a jako prostředek pro odstraňování znečišťujících látek nebo snižování jejich koncentrace. Kromě toho může větrání zajišťovat přívod kyslíku pro zařízení, v nichž probíhá spalování, a také sloužit jako prostředek pro chlazení v letním období.

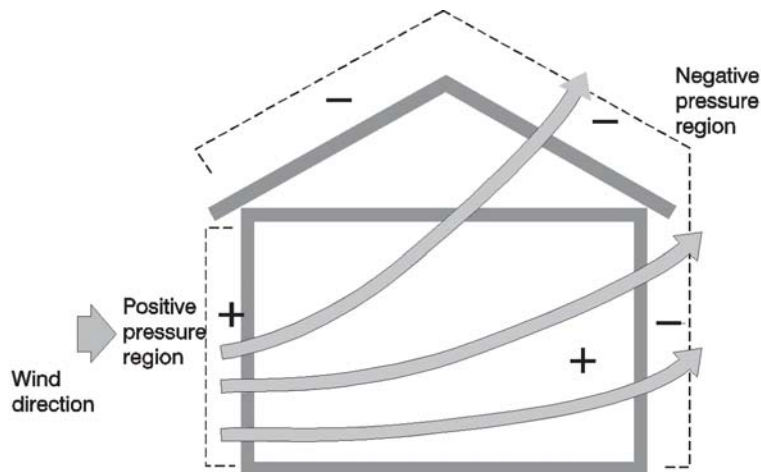
Systémy jsou obvykle navrhovány tak, aby poskytly poměrně nízkou úroveň průběžného větrání „v pozadí“, které splňuje první dva uvedené požadavky; obvykle se kombinují s nějakým intenzivním podpůrným zařízením, které se použije v okamžicích, kdy je koncentrace znečišťujících látek příliš vysoká. Toto podpůrné zařízení se velmi často využívá jak pro chlazení v létě, tak pro odstraňování znečišťujících látek. Provoz topidel vyžaduje obvykle další opatření, nad rámec spotřeby obyvatel.

### 2.2 Přírozené větrání

#### 2.2.1 Hnací síly

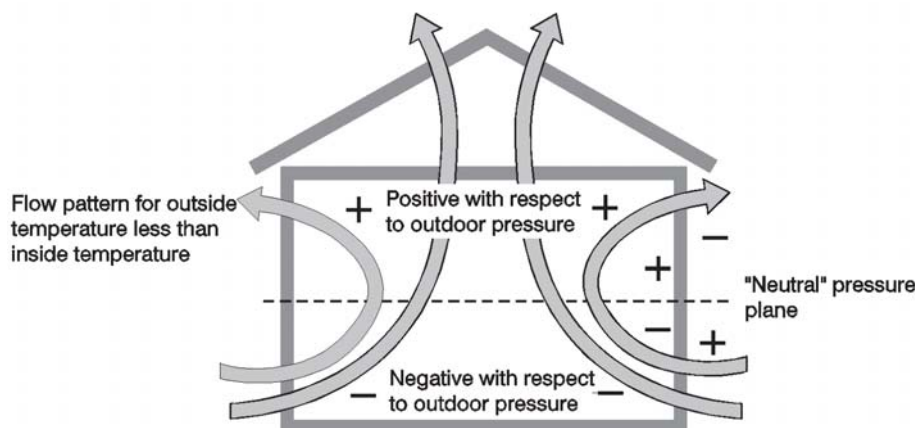
Přírozené větrání ovlivňují dvě hnací síly, působení větru a rozdíl teplot. Obě tyto síly se mění v čase a také v závislosti na lokalitě, a proto je velmi obtížné nějakým způsobem kontrolovat rychlost výměny vzduchu.

Nárazy větru do budovy způsobují, že v některých částech budovy vzniká přetlak a v některých naopak podtlak. Pokud je uvnitř budovy umožněno vhodné proudění vzduchu, proudí vzduch z místností s přetlakem do místností s podtlakem.



Obrázek 2.1: Tok vzduchu vyvolaný větrem

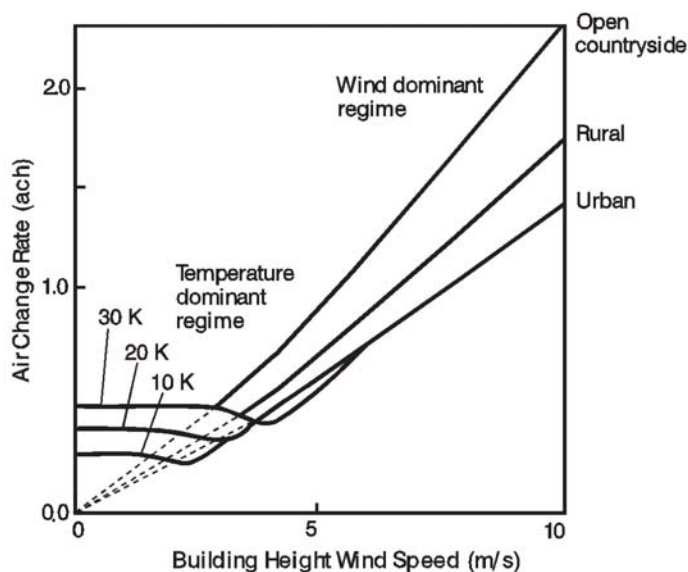
Proudění vzduchu způsobené tahem vzniká obvykle na základě teplotního rozdílu, což je většinou rozdíl mezi vzduchem vně a uvnitř budovy. V typické situaci proudí vzduch do budovy na nižší úrovni a z budovy uniká na vyšší úrovni. V budově je vždycky nějaký bod, v němž není žádný rozdíl tlaků, což se označuje jako neutrální hladina tlaku; její umístění je dáno existujícími odporem proti toku vzduchu a rozdíly teplot.



Obrázek 2.2: Tok vzduchu vyvolaný tahem

Tyto dvě hnací síly spolu mohou spolupůsobit, což v důsledku zvyšuje rychlost výměny vzduchu, nebo naopak působit proti sobě, takže se rychlost výměny vzduchu snižuje. Znamená to, že relativní poměr každé z těchto hnacích sil může významně ovlivnit průběh větrání.

Ve srovnání se silou, kterou vytváří tah, představuje vítr podstatně významnější hnací sílu. Na obrázku 2.3 je znázorněno, že vítr o rychlosti přesahující 3 m/s dominantně ovlivňuje systémy přirozeného větrání.



Obrázek 2.3: Relativní dominance působení větru a hnací síly vytvářené tahem

### 2.2.2 Větrání okny

Princip základního systému přirozeného větrání spočívá v infiltraci, ke které dochází v důsledku netěsností obvodového pláště „v pozadí“, doplněné otevíratelnými okny, umožňujícími v případě potřeby zvýšit rychlost výměny vzduchu.

Tento způsob větrání nabízí velmi levné řešení, které ale umožňuje jenom velmi nízkou úroveň kontroly. V průběhu topné sezony, kdy bývá vítr velmi silný a rozdíly teplot velmi významné, vede k nadměrnému větrání a vyšší spotřebě energie na vytápění prostor, než je nezbytné, nebo k tepelné

nepohodě v důsledku studeného průvanu. Naopak v letních měsících, kdy vane slabý vítr a rozdíly teplot jsou malé, vede ke vzniku vyšších vnitřních teplot v interiéru.

Tento systém se v nových obytných budovách používá zřídka, protože zajišťuje minimální požadavky na větrání, ale významný počet stávajících budov na tento princip spoléhá.

### 2.2.3 Účelově navržené

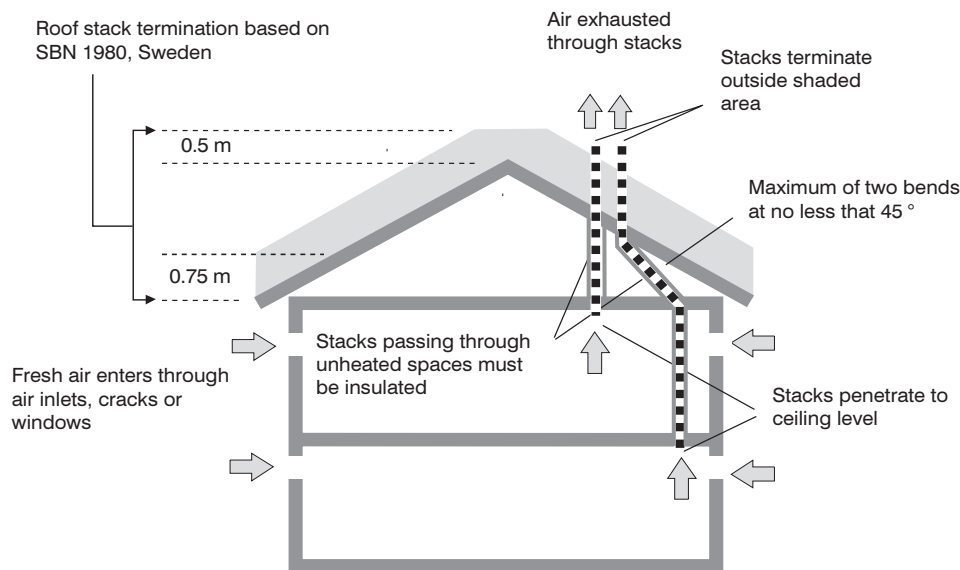
Vývoj systémů spočívajících ve větrání okny směřuje ke konstrukci méně průvzdušného obvodového pláště v kombinaci s kontrolovatelnými větracími otvory. Tyto účelově navržené otvory mohou mít řešení ve formě mikroventilačních prvků (trickle vent), posuvných větracích mřížek (hit & miss) nebo vhodně navržených oken, které slouží k zajištění větrání „v pozadí“. Větrání okny se potom používá ke zvýšení rychlosti výměny vzduchu.

Hlavní výhodou tohoto systému větrání je snížení nadměrného větrání v průběhu topné sezony. Přesto tento systém nenabízí dostatečnou kontrolu, protože je příliš závislý na přírodních hnacích silách.

### 2.2.4 Pasivní odtah

Větrání pomocí pasivního odtahu se navrhuje s cílem zajistit lepší kontrolu nadměrného větrání, přičemž se i nadále využívá přírodních hnacích sil.

Pasivní odtah (svislý odvětrávací kanálek) se začleňuje do stavební konstrukce s cílem odvádět vzduch z vlhkých prostor, obvykle koupelen a kuchyní. Čerstvý vzduch je dodáván pomocí účelových otvorů, jako jsou mikroventilační prvky (trickle vent). Odtah je ukončen nad střechou v místě podtlaku, aby se využil tlak vzduchu. Proto je proud vzduchu hnán odtahem vzhůru, na základě kombinace rozdílu teplot vnitřního/vnějšího vzduchu a působení větru.



Obrázek 2.4: Typická konfigurace větracího systému s pasivním odtahem

Pomocí tohoto typu systému stále ještě není možné dosáhnout rovnoměrné rychlosti výměny vzduchu. Podobné systémy se navrhují spíše proto, aby splňovaly průměrné požadavky na odvětrání.

Hnací síly, které se přitom využívají, jsou velmi malé. Proto je důležité, aby byly odtahy navrženy tak, aby měly minimální odpor a mohly zajišťovat odpovídající odvětrání. Dobrá konstrukční praxe dokládá, že je vhodné budovat samostatný odtah pro každou místnost, z níž má být vzduch odváděn. Typické průměry odtahových rour jsou 100 mm až 150 mm a nemají mít více než dva ohyby pod

úhlem 45° nebo menším. Každá odtahová roura, která vede nevytápěným prostorem, musí být tepelně izolovaná [BRE IP21/89 ve Velké Británii].

### 2.3 Nucené větrání

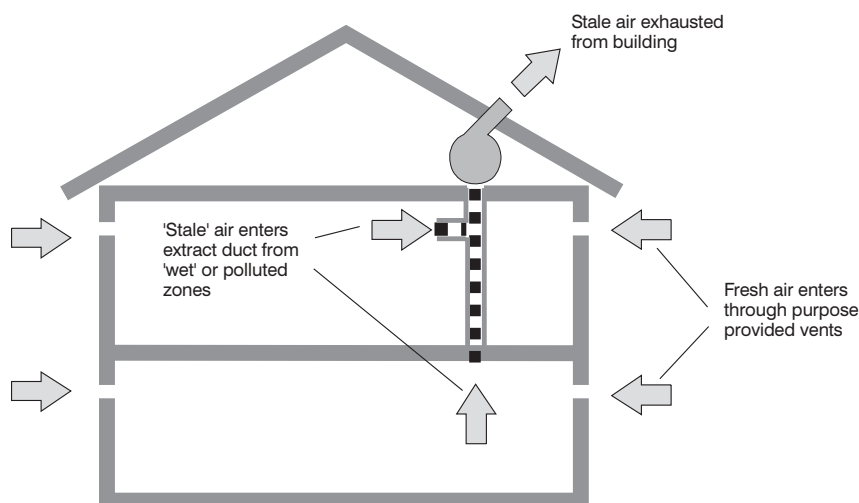
Systémy nuceného větrání nabízejí mnohem lepší kontrolu nad rychlostí výměny vzduchu než přirozené větrání. Při použití takového systému je však nutné pro přesun vzduchu vynaložit další energii.

#### 2.3.1 Nucený odtah

Místní nucený odtah se často používá v místnostech, v nichž vzniká vysoká vlhkost nebo silné pachy, a slouží jako prostředek pro rychlou likvidaci těchto jevů. Tyto místně působící ventilátory jsou obvykle instalovány jako doplněk k přirozenému větrání.

Při použití centrálního nuceného odtahu vytváří odváděný vzduch podtlak. Tento podtlak vyvolává přívod čerstvého vzduchu do budovy, k němuž dochází prostřednictvím spár, trhlinek nebo účelových otvorů. Vzduch je odváděn z vlhkých místností, koupelen a kuchyní, a tím se brání migrování vlhkosti v prostorách budovy. V časech, kdy dochází k velkému vzniku vlhkosti, je možné zvyšovat rychlost výměny vzduchu.

Tyto odtahové systémy nesmějí v budovách vytvářet přílišný podtlak, protože ten může vést ke zpětnému tahu z podzemních podlaží a topidel s otevřeným tahem.



Obrázek 2.5: Typická konfigurace systému nuceného odtahu

#### 2.3.2 Nucený přívod vzduchu

Systémy nuceného přívodu vzduchu jsou obdobou centrálního nuceného odtahu. Vzduch je přiváděn ventilátorem umístěným na rozvodu, takže se v budově vytváří přetlak. Ten vytlačuje vydýchaný vzduch z budovy prostřednictvím spár, trhlin a účelových otvorů. U rodinných domů se vzduch často přivádí z prostoru podkroví, ve kterém se vzduch předeřhává.

Tento typ systému byl obecně považován za nevhodný pro bytové objekty, protože způsobuje, že vlhký vzduch je nucen procházet celým objektem, přičemž vzniká nebezpečí, že dojde k poškození materiálů ve stavební konstrukci. Má však tu výhodu, že umožňuje filtraci a předeřhávání přiváděného vzduchu.

Ve Velké Británii došlo v posledních letech ke zvýšení zájmu o tuto technologii, protože představuje vhodnou variantu pro rekonstrukce.

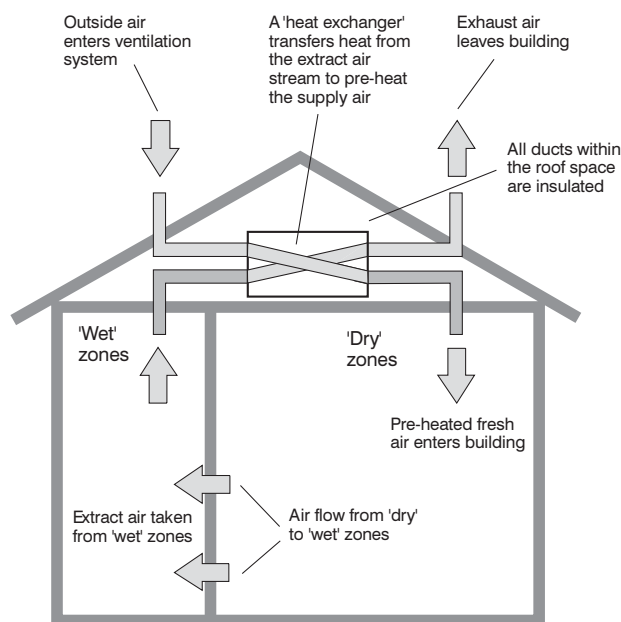
### 2.3.3 Rovnotlaké (balanced)

Rovnotlaký (balanced) systém se skládá z nezávislého přívodu a odtahu vzduchu. Kapacita systému přívodu odpovídá obvykle 90–95 % kapacity systému odtahu, takže v obytných prostorách vzniká lehký podtlak. Díky tomuto podtlaku nenastává situace, v níž by docházelo k nucenému prostupu vlhkosti celou konstrukcí obytného prostoru.

Systém přívodu vzduchu přivádí čerstvý vzduch do obytných místností, tj. obývacího pokoje, jídelny a ložnic, zatímco odtahový systém odvádí vlhký vzduch z místností, v nichž vlhkost vzniká, tj. kuchyní, koupelen a toalet. Tyto systémy často pracují po celých 24 hodin, přičemž nejvýznamnější je odtah v časových obdobích, v nichž dochází k největšímu vzniku vlhkosti.

Rovnotlaké systémy bývají často doplněny výměníkem tepla, který slouží k odběru tepla z vypouštěného vzduchu a využití tohoto tepla k předehřívání přiváděného vzduchu. Tyto výměníky tepla jsou obvykle kombinovány s ventilátory pro přívod a odtah vzduchu, které jsou zabudovány v jedné jednotce. Přitom je možné dosáhnout efektivnosti rekuperace tepla až 70 %, ale účinnost těchto jednotek závisí do značné míry na vzduchotěsnosti budovy.

Mezi výhody systémů rovnotlakého nuceného větrání patří: odvod vlhkosti z prostor, v nichž dochází k jejímu vzniku, předběžná filtrace přiváděného vzduchu a potenciální možnost rekuperace tepla. K nevýhodám patří: provozní náklady, investice, hlučnost a nároky na údržbu.



Obrázek 2.6: Typická konfigurace rovnotlakého nuceného systému větrání s rekuperací tepla

## 2.4 Výskyt jednotlivých typů systémů

Práce provedené jako součást přílohy 27 k IEA ECBCS [Månsson, 1995], dokládají, že přirozené větrání jednotlivých typů, často v kombinaci s doplňkovými lokálně umístěnými ventilátory, zůstávají v zemích OECD stále nejčastější metodou větrání. V tabulce 2.1 je pro každý systém větrání uvedeno, jaký podíl zaujímají v jednotlivých zemích, ve stávajících rodinných a bytových domech.

Systémy nuceného větrání se častěji využívají v zemích s chladnějším podnebím. Přesto i v těchto zemích představují rovnotlaké systémy relativně malé procento z celkového počtu instalovaných systémů.

Přírozené větrání v kombinaci s doplňkovým odtahem z kuchyně pomocí ventilátoru je obvyklé v rodinných domech, zatímco centrální odtahové systémy jsou běžnější v bytových domech s větším počtem bytových jednotek.

Tabulka 2.1: Použité větrací systémy ve stávajících bytových budovách

	Rodinné domy					Bytové domy				
	Přírozené			Nucené		Přírozené		Nucené		
	Adv.	Stack	S+Fan	Ext.	Bal	Adv.	Stack	S+Fan	Ext.	Bal
Belgie	100					95	5			
Kanada		15	85							
Dánsko		50*		48	2		50*		50	
Finsko										
Francie	40	15	20	22	3	40	20	10	30	
Německo										
Itálie	80		10	10		75			25	
Japonsko										
Nizozemsko		62*		38			37*		63	
Norsko			80	15	5		60		30	10
Švédsko		12	63	14	11		40		44	16
Švýcarsko	70		30			40		60		
Velká Británie		95*	5				100*			
USA	60			40						

**Poznámka:**

Vychází z údajů ze semináře AIVC – 1994

\* = zahrnuje všechny systémy s přírozeným přívodem a odtahem

Adv. = náhodné větrání

Stack = větrání s pasivním odtahem

S+fan = účelové otvory plus ventilátor na odtahu

Ext = nucený odtah

Bal = rovnotlaké nucené větrání pro celý dům

Tabulka 2.2 uvádí podíl různých systémů větrání používaných v různých zemích pro nové byty. Je zřejmé, že dochází k posunu směrem k systémům se zdokonalenou kontrolou rychlosti výměny vzduchu.

Tabulka 2.2: Použité větrací systémy v nově stavěných bytových domech

	Samostatné rodinné domy				Bytové domy			
	Přirozené		Nucené		Přirozené		Nucené	
	S+fan	Stack	Ext.	Bal	S+fan	Stack	Ext.	Bal.
Belgie								
Kanada				100				
Dánsko								
Finsko								
Francie		20	75	5	1		99	
Německo								
Itálie	80		20		90		10	
Japonsko								
Nizozemsko		20	80			20	80	
Norsko								
Švédsko			80	20			20	80
Švýcarsko								
Velká Británie	100				100			
USA	90	10			90	10		

Vyhází z údajů ze semináře AIVC – 1994

V zemích s chladnějším podnebím dominují v nové výstavbě větrací systémy s nucenou výměnou vzduchu. Objevuje se převažující počet systémů s mechanickým odtahem, ale v Kanadě a ve Švédsku je zřejmý příklon k významnému počtu rovnotlakých systémů.

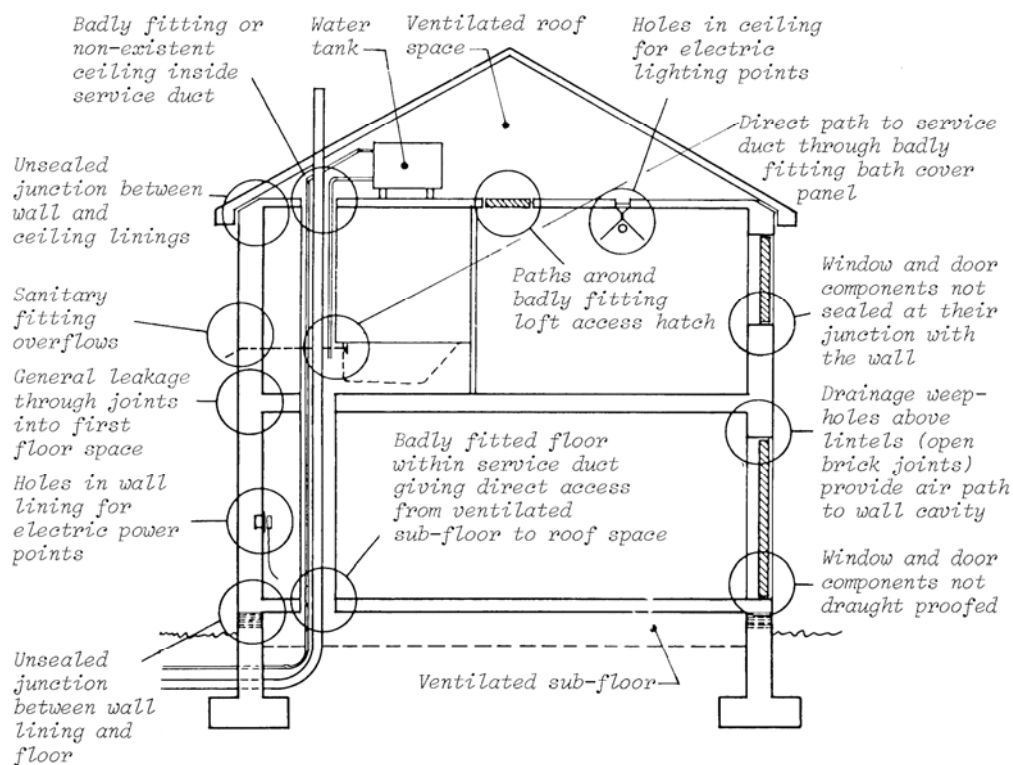
Za uvedenými zeměmi následují země, v nichž je podnebí mírnější. Přirozené větrání převládá v zemích s mírným podnebím, jako je Itálie, Velká Británie nebo USA. Lepší kontrolu těchto systémů přirozeného větrání poskytují lokální odtahové ventilátory umístěné v místnostech s větší vlhkostí a účelové otvory pro přívod vzduchu.

## 2.5 Vzduchotěsnost budov

Infiltrace vzduchu představuje nekontrolovaný přívod vzduchu v důsledku náhodně vzniklých a nezamýšlených otvorů a trhlin ve stavební konstrukci. Rychlost výměny vzduchu vlivem infiltrace závisí na vzduchotěsnosti budovy a hnačích silách, které působí na obvodovou konstrukci budovy. Infiltrace vzduchu nejen zvětšuje množství vzduchu, které je přiváděno do budovy, ale může také zkruslit zamýšlený vzorec proudění vzduchu na úkor kvality vzduchu v interiéru a na úkor tepelné pohody.

### 2.5.1 Netěsná místa, v nichž dochází k prostupu vzduchu

Konstrukce, které se běžně používají pro výstavbu bytových domů, jsou do určité míry porézní. Kromě toho ve všech spárách mezi stavebními prvky vznikají dráhy, v nichž dochází k prostupu vzduchu. Na obrázku 2.7 jsou znázorněny nejvýznamnější dráhy prostupu vzduchu v bytových domech.



Obrázek 2.7: Hlavní cesty prostupu vzduchu v bytových domech

V roce 1983 provedli Elmroth & Levin rozsáhlý průzkum pronikání vzduchu stavebními konstrukcemi a způsobu kontroly infiltrace v bytových domech. V budovách s dřevěnou konstrukcí lze ke snížení infiltrace využít parotěsnou zábranu a pečlivé utěsnění prostupů instalací a dveřních a okenních otvorů. Zděné konstrukce je možné utěsnit omítnutím vnějších povrchů, ale častěji provedením omítek na vnitřním povrchu obvodových stěn. Rovněž je nutné provést pečlivé utěsnění prostupů instalací a spár kolem dveřních a okenních otvorů.

U nověji používaných konstrukčních systémů, jako jsou betonové plošné systémy a ocelové skelety, je rovněž nutné uplatnit podobná opatření jako u výše uvedených dvou konstrukčních systémů, zabránit se tím nadměrné infiltraci.

### 2.5.2 Vliv prostupu vzduchu

Jak už jsme se zmínili, infiltrace může mít negativní vliv na účinnost větrání a tím i na kvalitu vzduchu a tepelnou pohodu v interiéru.

Pokud je obvodová konstrukce budovy mimořádně netěsná, dochází v době topné sezony – kdy je velký rozdíl mezi teplotami uvnitř budovy a venku (teplotní spád) a kdy často vane vítr o vysoké rychlosti – k velké infiltraci. V důsledku toho se zvyšují ztráty energie používané na vytápění a vzniká nebezpečí studeného průvanu, který ohrožuje tepelnou pohodu obyvatel.

Jestliže se u budov s mimořádně netěsnými konstrukcemi používá větrání s nuceným odtahem, potom bude rychlost výměn vzduchu vlivem infiltrace vyšší, než jaká vzniká v podobných budovách s přirozeným větráním.

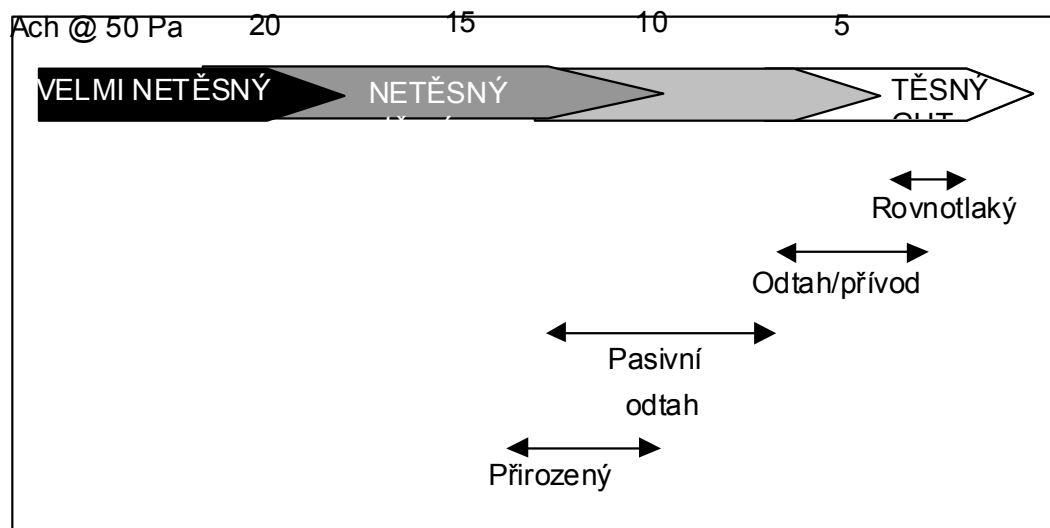
Na druhé straně, u budov, které vykazují vysokou těsnost, může použití nuceného odtahu vést k vysokému podtlaku při nasávání. To vede jednak k vysokým požadavkům na výkonnost ventilátorů, jednak ke zpětnému tahu u otevřených topidel a také k nasávání ze suterénu a k nedostatečnému provětrání. To znamená, že tato situace může způsobit špatnou kvalitu vzduchu v interiéru.

Rovnotlaké systémy větrání mohou být ohroženy nedostatečnou účinností, jestliže jsou instalovány v netěsnících budovách, protože infiltrace vzniklá v důsledku přírodních hnacích sil může být tak významná, že znehodnotí kontrolu, kterou rovnotlaké systémy nabízejí. Účinnost zařízení na rekuperaci tepla, které jsou součástí rovnotlakých systémů, je velmi citlivá na infiltraci. Při vysoké infiltraci dochází k obtoku kolem rekuperačního zařízení, což vede k velkým tepelným ztrátám, a zároveň to vyvolává další požadavky na energii pro ventilátor, který musí překonat odpor, jenž ve větracím systému klade výměník tepla.

### 2.5.3 Stupeň vzduchotěsnosti vhodný pro různé systémy větrání

Každý z uvedených způsobů větrání vyhovuje nejlépe v takových stavebních konstrukcích, které jsou řešeny podle příslušné normy definující vzduchotěsnost. Přitom však, jak již bylo uvedeno, různé normy vyhovují různým metodám větrání.

Na obrázku 2.8 jsou zobrazeny hodnoty vzduchotěsnosti, které udávají Liddament & Wilson [1991] pro různé systémy větrání. Není žádnou výhodou mít velmi netěsnou budovu, protože to téměř vždy vede ke vzniku chladného průvanu a nekontrolovanému větrání.



Obrázek 2.8: Doporučené vhodné úrovně vzduchotěsnosti

## 2.6 Normy týkající se větrání

Předložené normy týkající se větrání se v jednotlivých zemích liší. Přitom základem pro většinu požadavků jsou základní potřeby, které musí větrání splnit. V tabulce 2.3 (str. 13–14), převzaté od Limba [2001], jsou shrnuty současné požadavky na větrání obytných domů. Některé normy uvádějí rychlost výměny vzduchu pro celé domy, zatímco jiné specifikují rychlost výměny vzduchu pro konkrétní místnosti.

Limb [1994] provedl přibližný výpočet, aby porovnal různé normy pro obytné domy. Z něj vyplývá, že minimální rychlost výměny vzduchu se pohybuje od 0,3 ach do 1,0 ach.

Pro rychlost výměny vzduchu v jednotlivých místnostech nebyly provedeny žádné srovnávací výpočty. Platí však obecné parametry týkající se kontroly znečišťujících látek v místě jejich vzniku. Vyšší požadavek na objem odváděného vzduchu je obvykle specifikován pro kuchyně a koupelny, kde má sloužit k odvádění vlhkosti. Přívod vzduchu je obvykle zajišťován v obývacích pokojích a ložnicích, aby byl zabezpečen dostatečný přívod kyslíku, nezbytný pro metabolismus obyvatel a pro snížení koncentrace znečišťujících látek, které obyvatelé produkují (pachy).

## **2.7 Vliv podnebí**

Na výběr větracího systému má významný vliv podnebí, jak je patrné z toho, jakým větracím systémům dávají jednotlivé země přednost.

Velké požadavky na vytápění a potenciální nebezpečí vzniku silného studeného průvanu v těch zemích, kde je chladné podnebí, vede k přísnějším požadavkům na těsnost budov a na větrací systémy, které umožňují dobrou kontrolu.

Mírnější klimatické podmínky vykazují příklon k větracím systémům, které nevyžadují kontrolu, tj. obvykle k systémům přirozeného větrání. Jedná se o případy, kdy energie na vytápění a studený průvan často nejsou žádným problémem, naopak problémem může být přehřívání v letním období. Přirozené větrání představuje ve srovnání s nuceným větráním podstatně levnější řešení a může znamenat i výhodu, protože umožňuje odvádět v letním období tepelné zisky, aniž by bylo nutné použít klimatizaci.

Mírné podnebí dává tradičně přednost přirozenému větrání, přičemž budovy jsou relativně netěsné. Přesto se i v těchto klimatických podmínkách objevuje, v souvislosti s požadavky na snížení spotřeby energie, zvyšování kontroly větrání, které lze dosáhnout těsnějšími budovami a účelovým větráním.

Tabulka 2.3: Normy pro větrání v obytných domech

Země a odkaz na normu	Rychlost výměny vzduchu v celé budově	Obývací pokoj	Ložnice	Kuchyně	Koupelna + WC	Samostatné WC
Belgie (NBN D50-001 1991)	1 l/s/m <sup>2</sup> podlah. plochy se specifickými hodnotami pro kuchyně, WC a koupelny	Prívod 1 l/s/m <sup>2</sup> Min 75 m <sup>3</sup> /h Může být omezeno na max 150 m <sup>3</sup> /h	Prívod 1 l/s/m <sup>2</sup> Min 25 m <sup>3</sup> /h Může být omezeno na max 36 m <sup>3</sup> /h	Odtah 1 l/s na m <sup>2</sup> Min 50 m <sup>3</sup> /h Může být omezeno na max 75 m <sup>3</sup> /h	Odtah 1 l/s na m <sup>2</sup> Min 50 m <sup>3</sup> /h Může být omezeno na max 75 m <sup>3</sup> /h	Odtah 25 m <sup>3</sup> /h
Kanada (F326, 1-M1989)	>0,3 ach 5,0 l/s/os			Odtah 50 l/s (přeruš.) 30 l/s (průběž.)	Odtah 25 l/s (přeruš.) 15 l/s (průběž.)	
Dánsko	0,5 ach	Prívod čerstvého vzduchu: sklopné okno, ventilačka nebo dveře, plus jeden nebo více větracích otvorů o celk. čisté ploše min. 30 cm <sup>2</sup> na 25 m <sup>2</sup> podlah. plochy		Prívod: sklopné okno, ventilačka nebo dveře nebo větrací otvor. Odtah: objemový tok 20 l/s. Vzduch má být odváděn přes kryt odsávání.	Prívod: sklopné okno, ventilačka nebo dveře, popř. větrací otvor. A/nebo otvor pro přívod. Odtah: objemový tok 15 l/s.	Prívod: sklopné okno, ventilačka nebo dveře, popř. větrací otvor. A/nebo otvor pro přívod. Odtah: objemový tok 10 l/s.
Finsko	Údaje pro odtah mohou být sníženy, pokud nejsou prostory používány, za předpokladu, že rychlost výměny vzduchu v celé budově je větší než 0,4 ach a min. rychlost toku vzduchu v ložnicích a obývacích je dodržena..	0,5 l/s/m <sup>2</sup>	Min 4,0 l/s/osobu nebo 0,7 l/s/m <sup>2</sup> podlah. plochy	Odtah – tok vzduchu 20 l/s	Odtah 15 l/s	
Francie				Průběžně: 20–45 m <sup>3</sup> /h Přerušovaně: 75–135 m <sup>3</sup> /h	15–30 m <sup>3</sup> /h	15–30 m <sup>3</sup> /h
Německo	<50 m <sup>2</sup> max 2 obyvatelé Min 60 m <sup>3</sup> /h Celkem 60 m <sup>3</sup> /h  <80 m <sup>2</sup> max 4 obyvatelé Min 90 m <sup>3</sup> /h Celkem 120 m <sup>3</sup> /h  >80 m <sup>2</sup> max 2 obyvatelé Min 120 m <sup>3</sup> /h Celkem 180	1,0–1,5 ach		Normálně 40 m <sup>3</sup> /h (obýváno >12 hod/den) 60 m <sup>3</sup> /h (celk. tok vzduchu)  Čištění 200 m <sup>3</sup> /h obýváno >12 hod/den) 200 m <sup>3</sup> /h (celk. tok vzduchu) Kuch. kout 40 m <sup>3</sup> /h (obýváno >12 hod/den) 60 m <sup>3</sup> /h (celk.	40 m <sup>3</sup> /h (obýváno >12 hod/den) 60 m <sup>3</sup> /h (celk. tok vzduchu)	20 m <sup>3</sup> /h (obýváno >12 hod/den) 30 m <sup>3</sup> /h (celk. tok vzduchu)

Země a odkaz na normu	Rychlost výměny vzduchu v celé budově	Obývací pokoj	Ložnice	Kuchyně	Koupelna + WC	Samostatné WC
	m <sup>3</sup> /h			tok vzduchu)		
Řecko	Domy prům. 5 osob na 100 m <sup>2</sup> podlah.plochy  Byty prům 7 osob na 100 m <sup>2</sup> podlah.plochy	Domy a byty Min 8,5 m <sup>3</sup> /h/os. Max 12–17,5 m <sup>3</sup> /h		Domy a byty Min 8,5 m <sup>3</sup> /h/os. Max 50–85 m <sup>3</sup> /h	Domy a byty Min 34 m <sup>3</sup> /h/os. Max 50–85 m <sup>3</sup> /h	
Itálie (MD 05.07.75)	Přirozeně větrané domy 0,35 až 5,0 ach	15 m <sup>3</sup> /h/os.		1 ach	2 ach	1 ach
(Norma UNI 10339)		40 m <sup>3</sup> /h/os.	40 m <sup>3</sup> /h/os.	4 ach odtah	4 ach odtah	
Nizozemsko Stavební předpisy		0,9 dm <sup>3</sup> /s/m <sup>2</sup> podlah.plochy	0,9 dm <sup>3</sup> /s/m <sup>2</sup> podlah plochy	21 dm <sup>3</sup> /s	14 dm <sup>3</sup> /s	7 dm <sup>3</sup> /s
Nový Zéland (ASRAE 62-1999)	0,35 ach, ale min. 7 l/s/os.  Pro přirozené. větrání otevíratelná okna min. 5 % podlahové plochy v každé místnosti			50 l/s (přeruš.) nebo 12 l/s (průběž.), popř. otevíratelná okna	25 l/s (přeruš.) nebo 10 l/s(průběž.), popř. otevíratelná okna	
Norsko (Norský stavební řád)	Minimálně 0,5 ach	Zdroj: Otevíratelné okno nebo průduch větší než 100 cm <sup>2</sup> ve vnější zdi	Zdroj: Otevíratelné okno nebo průduch větší než 100 cm <sup>2</sup> ve vnější zdi	Nuc. odtah 60 m <sup>3</sup> /h nebo přirozený odtah nad střechem, trubkou min 150 cm <sup>2</sup>	Nuc. odtah 60 m <sup>3</sup> /h nebo přirozený odtah nad střechem, trubkou min 150 cm <sup>2</sup>	Nuc.odtah 40 m <sup>3</sup> /h nebo přirozený odtah nad střechem, trubkou min 100 cm <sup>2</sup>
Švédsko (BFS 1988: 38)	Požadavky: Místnosti, pokud jsou užívány průběžně 0,35 l/s/m <sup>2</sup> podlah. plochy		Doporučení: Minimálně 4,0 l/s/lůžko	Doporučení: Odtah: 10 l/s	10 l/s s otevíratelným oknem nebo 10 l/s rychlým ventilátorem až do 30 l/s, popř. 15 l/s bez otevíratelného okna	
Švýcarsko (SIA 180:00)	15 m <sup>3</sup> /h/os. (nekuřáci)					
Velká Británie (Stavební předpisy, schválený dokument F)		Rychlé větrání: 1/20 podlah. plochy  Trvale „v pozadí“: 8 000 mm <sup>2</sup>	Rychlé větrání: 1/20 podlah. plochy  Trvale „v pozadí“: 8 000 mm <sup>2</sup>	Rychlé větrání: otevření okna  Trvale „v pozadí“: 4 000 mm <sup>2</sup>  Rychlost odtahu: 30 l/s vedle sporáku nebo 60 l/s nebo PSV	Rychlé větrání: otevření okna  Trvale „v pozadí“: 4 000 mm <sup>2</sup>  Rychlost odtahu: 15 l/s nebo PSV	Rychlé větrání: otevření okna  Trvale „v pozadí“: 4 000 mm <sup>2</sup>  Rychlost odtahu: 15 l/s nebo PSV

Země a odkaz na normu	Rychlost výměny vzduchu v celé budově	Obývací pokoj	Ložnice	Kuchyň	Koupelna + WC	Samostatné WC
USA (ASHRAE 62-99)	0,35 ach, ale minimálně 7,5 l/s/os.  Příroz. větrání Min. plocha otevíratelných oken 5 % podlah.plochy v každé místnosti			50 l/s (přeruš.) nebo 12 l/s (průběž.), popř. otevíratelná okna	25 l/s na místnost (přeruš.) nebo 10 l/s (průběž.), popř. otevíratelná okna	

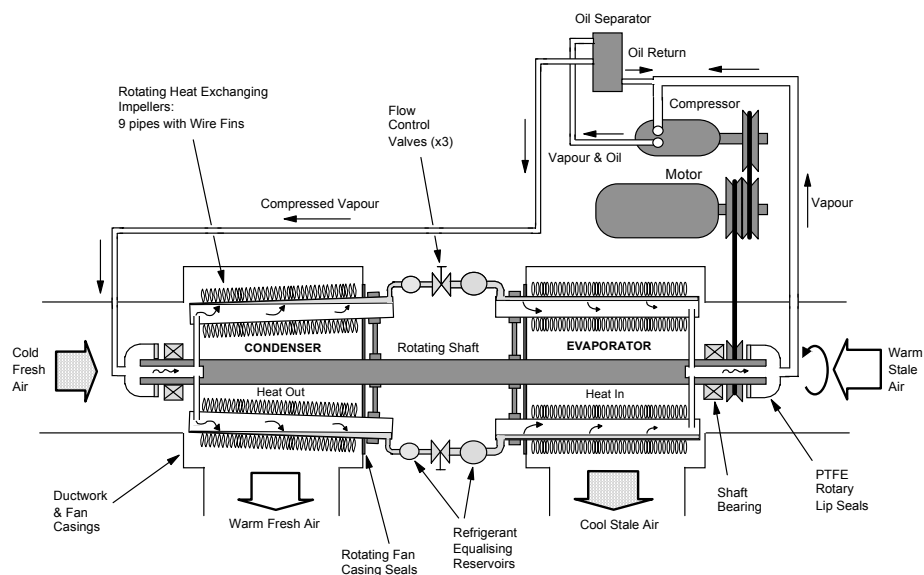
## 2.8 Inovační systémy

### 2.8.1 Rekuperace tepla v kombinaci s rovnotlakými nucenými systémy

U rovnotlakých nucených větracích systémů je běžná rekuperace tepla. Konvenční deskové výměníky tepla nabízejí relativně jednoduché řešení a mohou dosáhnout efektivity rekuperace až 70 %.

Práce na zvýšení účinnosti a snížení ztrát v důsledku tření a snížení nutného příkonu ventilátorů neustále pokračují. Některé z nejnovějších výsledků publikoval Op't Veld [2000]. Z těchto výsledků je zřejmé, že nová generace zařízení na rekuperaci tepla, která využívá nízkoenergetické DC ventilátory, může dosahovat účinnosti vyšší než 80 %.

Alternativní řešení ke zvyšování obnovy energie z rovnotlakých větracích systémů představuje použití tepelného čerpadla v kombinaci s konvenčním výměníkem tepla. Tato tepelná čerpadla dokážou znovu získat a navýšit tepelnou energii z odváděného vzduchu a přenést ji do přiváděného vzduchu. Tyto systémy sice přinášejí výhody, pokud jde o požadavky na vytápění prostorů, ale po část roku vyžadují i další zdroj vytápění – aby bylo možné zaručit tepelnou pohodu.

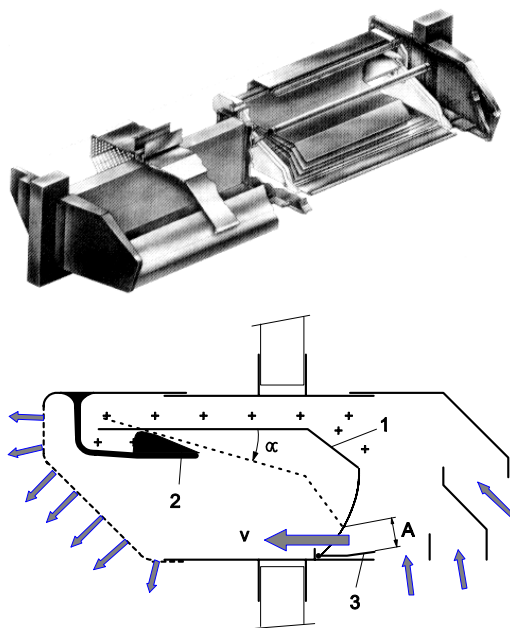


Obrázek 2.9: Inovační tepelné čerpadlo a jednotky pro rekuperaci tepla

V rámci pokusů o zlepšení účinnosti těchto systémů byly uplatněny inovativní přístupy. Riffat a Gillott [2000] prezentovali výsledky inovovaného systému tepelného čerpadla, které využívá rozvodné trubky, takže se v jedné jednotce kombinují funkce rekuperace tepla a tepelného čerpadla. Počáteční výsledky dokládají, že jednotka může dosáhnout systém COP v řádu 2,1, a obrácením toku vzduchu skrze jednotku může zajistit v létě chlazení v COP zhruba 1,1. Další práce jsou zaměřeny na snížení ztrát třením a zlepšení účinnosti ventilátoru a motoru.

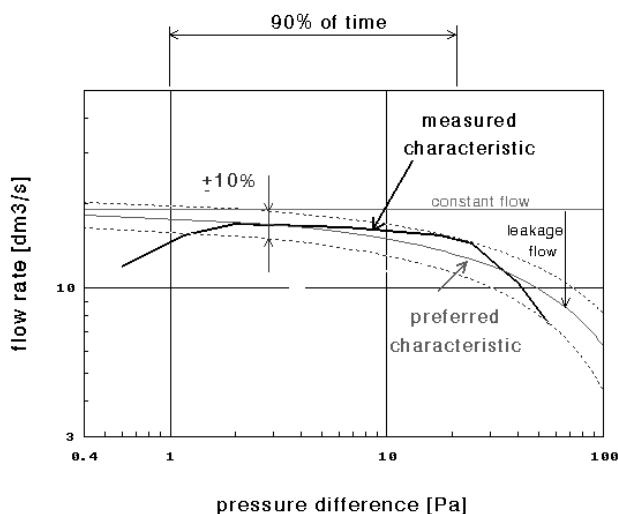
### 2.8.2 Větrací otvory pro přirozené větrání ovlivňované tlakem

Hnací síly, které ovlivňují přirozené větrání, jsou velmi proměnlivé. Často se stává, že jsou hnací síly nejsilnější v době, kdy je požadována nejnižší rychlost výměny vzduchu, a naopak jsou nejslabší v době, kdy by vyšší rychlost výměny vzduchu přinášela výhodu přirozeného chlazení.



Obrázek 2.10: Konstantní rychlost toku při přirozeném větrání

Uskutečnily se pokusy vyrobit účelové ventilátory reagující na tlak, které by dokázaly zajistit konstantní rychlost výměny vzduchu pro různé tlaky vznikající za různých vnějších podmínek.



Obrázek 2.11: Závislost rychlosti výměny vzduchu větráním na tlaku

Přestože se vhodné ventilátory vyrábějí, k jejich osazování dochází jen velmi zřídka, protože trhu dominují levnější, neřízené ventilátory nebo ventilátory řízené vlhkostí.

### 2.8.3 Kontrola na základě požadavků

Normy týkající se větrání, které určují rychlosti toku vzduchu, byly vyvinuty v průběhu řady let a vycházejí především z empirických údajů. Přestože jsou tyto normy schopné zajistit přijatelnou kvalitu vzduchu v interiéru a vyloučit problémy s kondenzací, mohou vést k nadbytečnému větrání. Kontrola větrání na základě požadavků (Demand control ventilation/DCV) nabízí metodu, která umožňuje, aby rychlost výměny vzduchu lépe vyhovovala aktuálním potřebám, což vede ke snížení energetických ztrát a ke snížení množství energie, kterou spotřebovávají ventilátory.

Pro kontrolu jak nucených, tak pasivních odtahových větracích systémů se v současné době využívá relativní vlhkost. Přitom však jsou čidla reagující na vlhkost notoricky nespolehlivá a nedokážou ve všech situacích rozpoznat změny požadavků na větrání.

Jako vhodnější ukazatel pro zjištění aktivity obyvatel se jeví kysličník uhličitý, který také lépe umožňuje stanovit požadavky na větrání. Koncentrace kysličníku uhličitého stoupá s počtem přítomných obyvatel a intenzitou jejich činnosti, takže se liší pro aktivní činnost, sedavou činnost a pro prostory, v nichž se lidé nenacházejí. Z výzkumů je zřejmé, že při použití DCV je možné snížit větrání o 20 až 30 %, aniž by došlo ke snížení kvality vnitřního vzduchu. Výhody vyniknou u budov, v nichž se počet přítomných osob hodně mění.

### 2.8.4 Rekuperace tepla z pasivního vertikálního odtahu

Jednou z nevýhod systému větrání s použitím pasivního odtahu je nemožnost rekuperovat teplo z odváděného vzduchu.

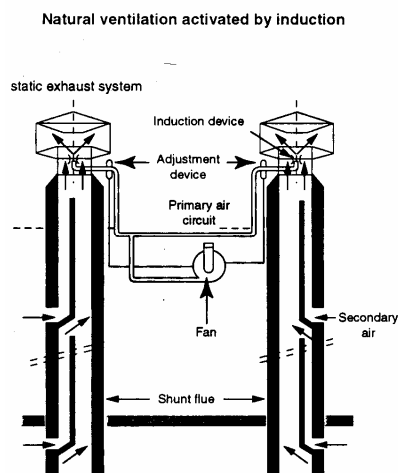
Tlak, který je příčinou pasivního odtahu, je velmi nízký, a proto nemůže překonat další odpor, který by mu kladl vložený konvenční výměník tepla. Kromě toho by přenos tepla z odváděného do přiváděného vzduchu snížil teplotní rozdíl, a tím ještě více snížil existující hnací síly.

Tomuto problému se věnovali [Shao 1998], [Blom, Brunsell 1999] a [Sasaki a kol. 1999], kteří se snažili zjistit, jak umožnit rekuperaci tepla u systémů pasivního odtahu při nízkém tlaku a u hybridních větracích systémů. Konvenční deskové výměníky tepla kladou relativně vysoký odpor, a proto jsou nevhodné pro čistě pasivní systémy odtahu. Lepších výsledků se podařilo dosáhnout s použitím teplovodních trubek, které je možné uspořádat tak, aby vykazovaly nižší tlakové ztráty. Shao a kol. [1998] dokládají, že lze dosáhnout 50% účinnosti rekuperace tepla, přičemž ztráty tlaku mohou být drženy v řádu 1 Pa při rychlosti toku vzduchu 1 m/s.

Další změny by bylo nutné provést, kdyby měl být celý tento systém implementován pro rekuperaci tepla v bytových domech. V současné době se přívod vzduchu uskutečňuje do většího počtu oddělených místností prostřednictvím účelových otvorů umístěných ve fasádě. Aby bylo možné využít teplo rekuperované z odváděného vzduchu pro ohřev přiváděného vzduchu, musela by být tato část systému změněna.

### 2.8.5 Přirozené větrání s pomocným nasáváním

Hnací síly přirozeného větrání jsou velmi proměnlivé, což ztěžuje návrh robustního systému přirozeného větrání, který by minimalizoval energetické ztráty. Jednou z prověřovaných variant je použití hybridního systému, který zajistí vyšší spolehlivost systému přirozeného větrání, aniž by vznikly provozní náklady vyplývající z nuceného větrání.



Přirozené větrání aktivované nasáváním  
 Statický odtahový systém

- Nasávací zařízení
- Regulační prvek
- Obvod primárního vzduchu
- Sekundární vzduch
- Boční tah

*Obrázek 2.12: Přirozené větrání aktivované nasáváním*

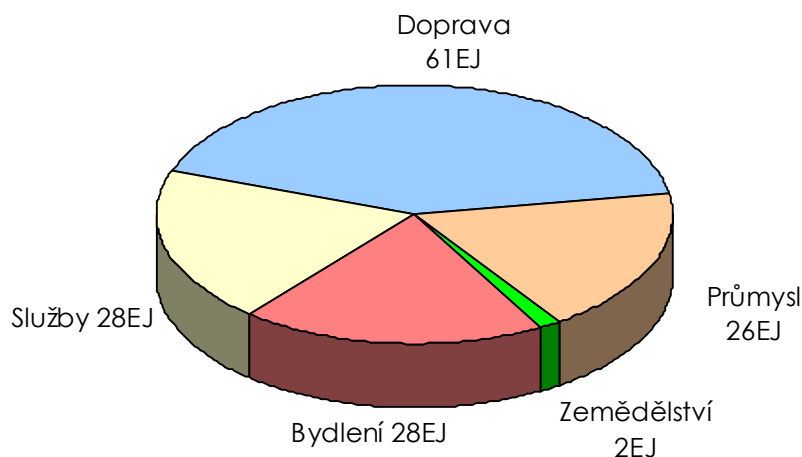
Primární vzduch se pomocí pohonu vysokou rychlostí přivádí do odtahových kanálů, a tím způsobuje pohyb odváděného vydýchaného vzduchu. Systém tak zaručuje, že hnací síly budou vždy k dispozici a to i v případě, kdy budou přirozené hnací síly velmi slabé. Obměňování síly toku primárního vzduchu umožňuje kontrolovat rychlost výměny odváděného vzduchu.

Noel a kol. [2000] předložili zprávu o předběžných výsledcích systému přirozeného větrání aktivovaného nasáváním, který použili v testovaném domě. Z těchto výsledků je zřejmé, že je možné navrhnout bezpečný a kontrolovatelný systém vhodný pro obytné budovy.

## 3 Důsledky větrání na spotřebu energie

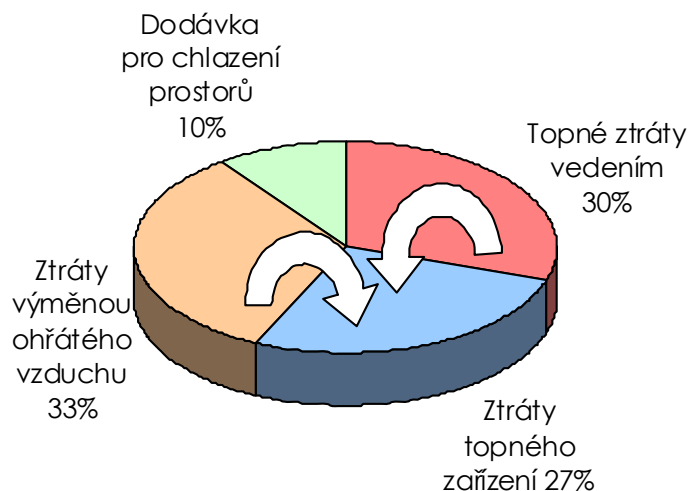
### 3.1 Spotřeba energie v souvislosti s větráním

Spotřeba energie související s provozem obytných budov představuje v rámci zemí OECD významný podíl celkové spotřeby energie. Údaje za rok 1998 [IEA, 2000] udávají, že z celkové primární spotřeby energie 145 EJ připadá zhruba 28 EJ na obytné budovy. Z toho tvoří významný podíl energetické ztráty, způsobené větráním a infiltrací.



Obrázek 3.1: Spotřeba primární energie v jednotlivých sektorech hospodářství

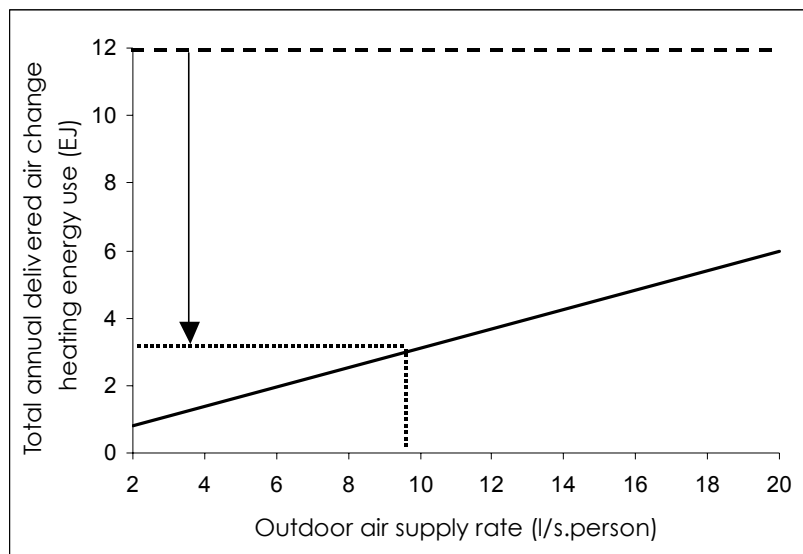
Využití dodávané energie, které souvisí s větráním, je možné rozdělit do tří částí: ztráty související s tepelnou úpravou vzduchu při větrání a infiltraci (ohřev a chlazení); ztráty zařízení, která slouží k tepelné úpravě vzduchu; a energie, používaná pro nucené proudění vzduchu směrem do budovy a z budovy. Orme [1998] odhadl rozdělení energie sloužící pro temperování prostorů – společně pro sektor bydlení a služeb – jak je znázorněno na obrázku 3.2. Z těchto čísel vyplývá, že kolem 12 EJ dodané energie se spotřebovuje v souvislosti s větráním.



Obrázek 3.2: Dodávaná energie využitá koncovými uživateli v sektorech bydlení a služeb

Nadměrné větrání, které přesahuje minimální potřebné množství, vede k nadměrné spotřebě energie. Některé odhady potenciálních úspor energie vycházejí z předpokladu, že rychlost výměny vzduchu může být snížena minimálně o 10 l/s na osobu. Tato norma se běžně užívá u občanských staveb, ale lze ji srovnat s minimálními rychlostmi výměny vzduchu, uvedenými ve výše uvedených normách. Pokud budeme aplikovat odhad uvedený v Orme [1998] pro bytové a občanské stavby – jak je znázorněn na obrázku 3.3 – na čísla týkající se v současné době bytových staveb, potom by bylo možné snížením rychlosti výměny vzduchu dosáhnout úspory energie až 9 EJ.

Tam, kde je možné využít rekuperace tepla, je možné dosáhnout ještě významnějšího snížení spotřeby energie. Pokud by bylo veškeré větrání zajišťováno prostřednictvím rovnotlakého nuceného větrání s rekuperací tepla s účinností 70 %, potom by bylo možné dosáhnout další úspory energie na vytápění v objemu 2,8 EJ.



Obrázek 3.3: Potenciální úspory dodávané energie pro bytové a občanské stavby

### 3.2 Vliv vzduchotěsnosti

Současné energetické ztráty v důsledku výměny vzduchu a ztráty s tím souvisejících klimatizačních zařízení jsou důsledkem jak záměrného větrání, tak infiltrace. Zatímco se většina systémů větrání do určité míry spoléhá na infiltraci, která zajišťuje část nezbytného větrání „v pozadí“, nedostatečná kontrola může často vést ke zbytečně velké rychlosti výměny vzduchu a tím ke zbytečně velké spotřebě energie.

Z infiltrovaného vzduchu není možné tepelnou energii rekuperovat, protože je nekontrolovatelně rozptýlený. Proto velká rychlost výměny vzduchu infiltrací významně redukuje účinnost a efektivnost rekuperačních zařízení.

Navrhované standardy pro vzduchotěsnost, vhodné pro jednotlivé systémy větrání, jsou uvedeny v obrázku 2.8 v kapitole 2.5.

### 3.3 Vliv podnebí

Na spotřebu energie, ke které dochází v souvislosti s větráním, má samozřejmě velký vliv podnebí. Podstatně větší množství energie se spotřebuje při stejné rychlosti výměny vzduchu v chladném podnebí než v mírném podnebí. Podobně bytové domy v chladném nebo mírném podnebí nevyžadují chlazení, zatímco v teplém a horkém podnebí jej vyžadují. Svůj vliv má také vlhkost, protože někdy je

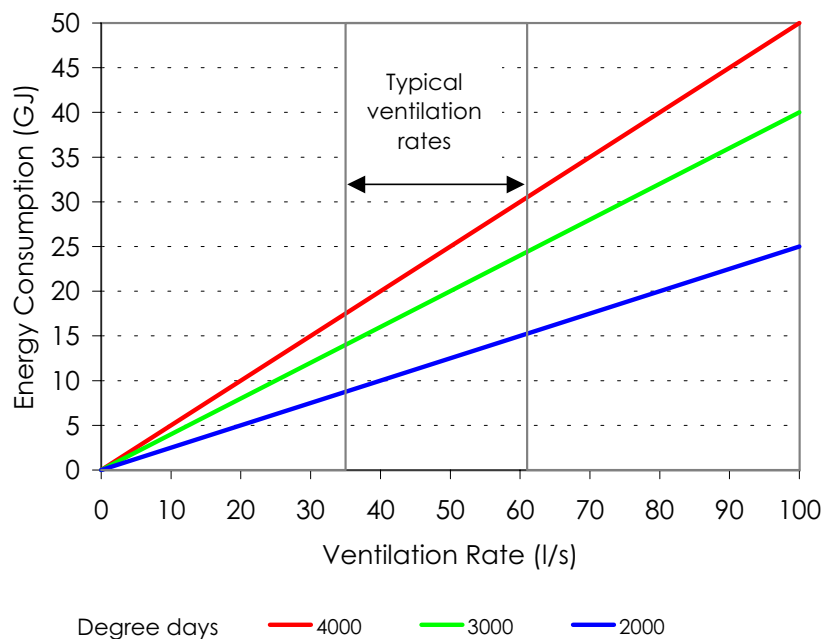
nutné vlhkost snižovat (v obytných budovách se zařízení na zvyšování vlhkosti instaluje jenom velmi zřídka).

Jednou z metod hodnocení podnebí je počet deno-stupňů (degree-day). Tato metoda se většinou používá pro vytápění, ale existují i dny, kdy je potřeba zajistit chlazení (klimatizaci). Deno-stupně pro vytápění udávají v podstatě počet rozdílových teplotních stupňů, stanovených jako průměr za jednodenní období, ve kterém je průměrná venkovní denní teplota nižší než stanovená základní teplota. Podobně deno-stupně pro chlazení (klimatizaci), které se používají ke kvantifikaci entalpie vzduchu nad stanovenou základní teplotou a obsahem vlhkosti. Tato koncepce je velmi vhodná, protože kombinuje teplotu a čas, a čísla, která udávají deno-stupně, jsou velmi často dostupná. Nevýhodou ovšem je, že v různých zemích jsou stanoveny různé základní teploty.

Liddament [1996] definuje podnební/klimatické zóny pomocí deno-stupňů následovně:

- Mírné podnebí:** požadavky na vytápění ani na chlazení nejsou významné, hodnota deno-stupňů za rok je 2000 nebo méně.
- Příznivé podnebí:** požadavky na vytápění nebo chlazení mohou být v některých ročních obdobích významné, celková hodnota deno-stupňů za rok se pohybuje mezi 2000 a 3000.
- Náročné podnebí:** požadavky na vytápění a chlazení jsou vysoké, hodnota deno-stupňů za rok je vyšší než 3000.

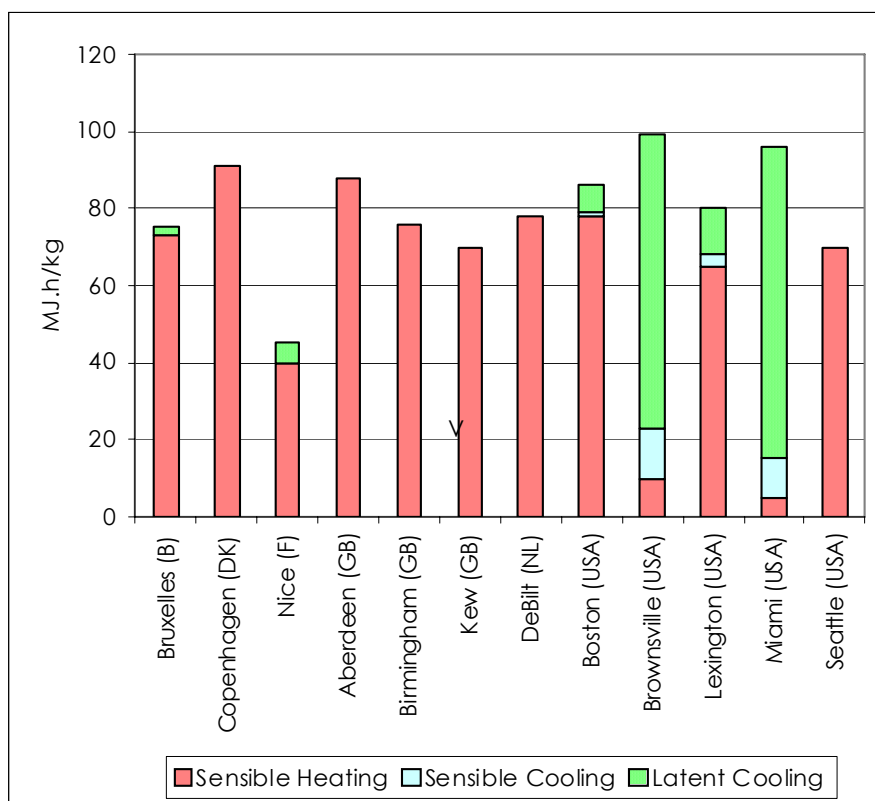
Na obrázku 3.4 je graficky zobrazen dopad podnebí, měřený v deno-stupních, na ztráty energie v důsledku větrání. Jsou zde také vyznačeny rychlosti výměny vzduchu typické pro rodinné domy.



Obrázek 3.4: Vliv podnebí na roční požadavky na spotřebu energie na vytápění

Alternativní postup použil Colliver [1995] pro odhad spotřeby energie nutné pro úpravu každého kg/h přiváděného vzduchu na stanovenou hodnotu 18 °C (zahříváním) a na stanovenou hodnotu 25,6 °C (chlazením) při relativní vlhkosti 40 %, a to pro 43 míst nacházejících se po celé Evropě a USA. Na

obrázku 3.5 jsou znázorněny výsledky pro zvolená místa. Je zřejmé, že v chladném a mírném podnebí je rozhodující ohřev vzduchu přiváděného větráním, zatímco ve vlhkém podnebí se vynakládá nejvíce energie na odstranění vlhkosti.



*Vnímatelné vytápění Vnímatelné chlazení Latentní chlazení*

Obrázek 3.5: Požadavky na spotřebu energie v různých lokalitách

### 3.4 Normy

#### 3.4.1 Normy týkající se spotřeby energie (energetické normy)

Informace o energetických normách byly převzaty od Limba [2001] a jsou shrnuty v tabulce 3.1 níže. Podrobnější informace o těchto normách najdete ve zprávě AIVC.

Existují tři způsoby, kterými se hodnotí kontrola spotřeby energie v budovách; jedná se o „základní metodu“, „výpočetní metodu“ a „energetickou metodu“. Některé země povolují používání jedné z těchto metod, zatímco jiné povolují použití všech tří.

Základní metoda vyžaduje, aby každá stavební konstrukce splňovala minimálně konkrétní hodnotu tepelného přestupu (obvykle vyjádřenou jako U-hodnota ve  $W/m^2K$ ).

Výpočetní metoda buď stanovuje průměrnou U-hodnotu pro budovy, nebo cílové tepelné ztráty odvozené od standardní budovy, která vyhovuje kritériím základní metody. V rámci určitých mezí nabízí tato metoda větší flexibilitu než základní metoda, a to v možnosti volby ploch oken, dveří a střešních oken nebo izolačních schopností jednotlivých prvků obvodového pláště budovy.

Energetická metoda stanovuje, jaké cílové (nebo nižší) spotřeby energie má budova dosáhnout. Bere v úvahu spotřebu energie, kterou mají zařízení umístěná v budově, a také chování obvodové konstrukce budovy. Je to nejflexibilnější metoda, která umožňuje, aby nižší izolační schopnosti stavebních konstrukcí byly vyrovnávány lepší funkcí zařízení zaměřených na úsporu energie.

Tabulka 3.1: Normy týkající se spotřeby energie (energetické normy)

Stát	Norma(y)	Zákl. metoda	Výpočet. metoda	Energetická metoda
Belgie	Nařízení vlámské vlády z 18. září 1991, týkající se tepelných požadavků na budovy (platnost od 1. září 1992). Nařízení valonské vlády z 15. února 1996, týkající se tepelných požadavků na budovy (platnost od 1. prosince 1996). Nařízení bruselské vlády ze 3. června 1999, týkající se tepelných požadavků na budovy (platnost od 1. ledna 2000).	✓	✓	✓
Dánsko	Stavební řád – kapitola 8 Tepelné izolace.	✓	✓	✓
Francie	Réglementation thermique 2000 (tzv. RT2000).			✓
Řecko	Prezidentské nařízení 1-6/4-7/1979, „Směrnice pro tepelné izolace“.		✓	
Nizozemsko	NEN 5128 – norma energetické účinnosti	✓		✓
Nový Zéland	Normy týkající se izolaci; NZS 4218 pro malé budovy, NZS 4305 pro horkovodní systémy Nový Zéland – stavební předpisy, kapitola H1, která stanovuje index funkčnosti budov			
Norsko	Technická nařízení jako součást zákona o projektování a realizaci staveb 1997; kapitola 8-21 Energie a výkon.	✓	✓	✓
Švédsko	BFS 1993:57, včetně dodatků. BFS 1995:17, BFS 1995:65. Stavební řád BBR 94 Kapitola 9 Ekonomické využití energie a snižování tepelných ztrát		✓	
Velká Británie	Stavební řád 2000 – schválený dokument L1 „Úspora paliv a energie“.	✓	✓	✓
USA	ASHRAE 90.2 1993 Energeticky efektivní návrh nízkopodlažních bytových staveb. ANSI/ASHRAE/IES 100.2-1991 Úspora energie ve stávajících budovách – vysokopodlažních bytových domech.			

### 3.4.2 Normy týkající se tepelných izolací

Normy týkající se tepelných izolací byly převzaty od Limba [2001], kde jsou zahrnuty jako energetické směrnice a informace a jsou shrnuty v tabulce 3.2 níže.

Tabulka 3.2: Normy týkající se tepelných izolací (čísla představují U-hodnoty ve  $W/m^2K$ )

	Podlahy v přízemí	Stěny	Okna	Střechy
<b>Belgie</b>	0,60 nad suterén. prostorem, 0,90 nad nezamrzajícím prostorem, 1,20 v kontaktu se zemínou	Vnější stěny 0,60, pokud nesousedí s nezamrzajícím prostorem suterénu, kdy je nutné 0,90. Stěny vzájemně oddělující budovy 1,00	Brusel 2,50 Flandry 3,50 Valonsko 3,50	Brusel 0,40 Flandry 0,60 Valonsko 0,40
<b>Dánsko</b> (pro místnosti vytápěné na min. 18 °C)	0,20	Vnější <100 kg/m <sup>2</sup> 0,20 Vnější >100 kg/m <sup>2</sup> 0,30 Vnitřní sousedící s místnostmi o nižší teplotě 0,40	1,80	0,15 šikmé 0,20 ploché
<b>Norsko</b> (pro prostory vytápěné mezi 15 až 20 °C – čísla v závorkách pro >20 °C)	0,20 (0,15)	Vnější stěny 0,28 (0,22) Stěny sousedící s nevytápěným prostorem 0,80	2,00 (1,60)	0,20 (0,15)
<b>Švédsko</b>	-	-	-	-
<b>Velká Británie</b> (plynové nebo naftové kotle pro cílový SEDBUK)	0,25	0,35	2,00 dřevěná a plastová 2,20 kovová	0,25 ploché 0,16 šikmé
<b>USA</b>	-	-	-	-

### 3.4.3 Normy týkající se vzduchotěsnosti

Informace o normách týkajících se vzduchotěsnosti jsou převzaty od Limba [2001] a jsou shrnuty v tabulce 3.3 níže. Normy jsou zpracovány ve dvou variantách, buď pro budovy jako celek, nebo ty, které se zaměřují na jednotlivé stavební konstrukce. Podrobnější informace a analýzy najdete u Limba [2001].

Tabulka 3.3: Normy týkající se vzduchotěsnosti

Stát	Celá budova	Komponenty	
		Okna	Dveře
Belgie	Doporučení: >3 ach při 50 Pa pro rovnotlaké nucené větrání >1 ach při 50 Pa pro rovnotlaké nucené větrání s rekuperací		0,50 dm <sup>3</sup> .s/m při 50 Pa
Dánsko			0,50 dm <sup>3</sup> .s/m při 50 Pa
Finsko		Třída 1 <0,5 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> při 50 Pa Třída 2 0,5–2,5 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> při 50 Pa Třída 3 >2,5 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> při 50 Pa	

Stát	Celá budova	Komponenty	
		Okna	Dveře
Francie	Referenční hodnota toku vzduchu pod 4 Pa, dělená plochou obvodové konstrukce budovy (vyjádřena v $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ). Referenční hodnota se pohybuje od 0,8 do 2,5 v závislosti na typu konstrukce. Pokud není definován žádný další závazek, je možné použít implicitní hodnotu tím, že se k referenční hodnotě přičte 0,5.	Třída A1: 20–60 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ při 100 Pa Třída A2: 7–20 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ při 100 Pa Třída A3: < 7 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ při 100 Pa	Třída A1: 20–60 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ při 100 Pa Třída A2: 7–20 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ při 100 Pa Třída A3: < 7 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ při 100 Pa
Německo		Norma klasifikuje okna podle úrovně vlivů, jakým jsou vystavena, a udává hodnoty propustnosti vzduchu pro každou skupinu, pod tlakem v rozsahu rozdílu tlaků 10 až 1 000 Pa.  1–20 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ délky spáry při tlakovém rozdílu 10 až 1 000 Pa	
Itálie		1,4–4,0 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ při 50 Pa, rychlost toku vzduchu na délkovou jednotku spáry otvoru.  4,8–31 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ při 50 Pa, rychlost toku vzduchu na plošnou jednotku okna.	
Nizozemsko	Třída 1 Max 200 $\text{dm}^3/\text{s}$ při 10 Pa (2,24 ach při 10 Pa) Třída 1 Min 30–50 $\text{dm}^3/\text{s}$ (0,4–0,72 ach při 10 Pa) Třída 2 Max až do 80 $\text{dm}^3/\text{s}$ (0,72–1,15 ach při 10 Pa)	2,5 $\text{dm}^3/\text{s}$ na m délky spáry při 75 Pa 0,5 $\text{dm}^3/\text{s}$ na 100 mm rámu.	
Nový Zéland		0,6–4,0 $\text{dm}^3/\text{s}$ na m délky spáry při 150 Pa 2,0–17 $\text{dm}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$ plochy okna při 150 Pa.	
Norsko	Samostatně i nesamostatně stojící domy 4 ach při 50 Pa Ostatní budovy o třech podlažích nebo méně 3 ach při 50 Pa Ostatní budovy >2 patra výšky 1,5 ach při 50 Pa		
Švédsko	Obvodová konstrukce budov musí být tak těsná, aby pro rychlost infiltrace při rozdílu tlaku 50 Pa nepřesáhla 8 l/s na $\text{m}^2$		
Švýcarsko	Nové budovy – horní hranice 0,75 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ Doporučovaná hranice 0,5 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$	0,2 $\text{m}^3/\text{h}$ při 1 Pa (když $n = 0,66$ ) (a) 5,65 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ při	

Stát	Celá budova	Komponenty	
		Okna	Dveře
	Rekonstruované nebo upravené budovy – horní hranice 1,5 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> Doporučená hranice 1 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	150 Pa (b) 8,95 m <sup>3</sup> /h.m při 300 Pa (c) 14,25 m <sup>3</sup> /h.m při 600 Pa	
Velká Británie	Doporučení v CIBSE TM23 2000 Index průniku vzduchu pro bytové stavby 15,0 m <sup>3</sup> .h.m <sup>2</sup> při 50 Pa (dobrá praxe) 8 m <sup>3</sup> .h.m <sup>2</sup> při 50 Pa (nejlepší praxe) Obytné domy (když je celý dům vybaven rovnotlakým nuceným větráním) 8,0 (GP) – 4,0 (BP) m <sup>3</sup> .h.m <sup>2</sup> při 50 Pa	1,22–6,2 m <sup>3</sup> /h.m při 50 Pa	
USA	Normalizovaný rozsah průniku je převzat z měření při 4 Pa ELA pro celé USA. Od <0,1–1,60 (z ASHRAE 119-1988 (RA) Příloha. B ACH≈LN. proto <0,1-1,6 ach) Pozn.: Požadavky normy nejsou v žádné části USA přísnější než 0,28 (pouze v malé části středozápadu). Většinou je požadavek na těsnost roven 0,4.	Okna jsou 3 cfm na m <sup>2</sup> plochy okna, při testování podle ASTM E28  Norma ASHRAE 90.1-99 doporučuje pro rychlost průniku u oken a dveří v souladu s NFRC hodnotu 400. Průnik vzduchu nesmí překročit hodnotu 5 l/s.m <sup>2</sup> pro kyvné vstupní dveře a pro turniketové dveře, hodnotu 2,0 l/s m <sup>2</sup> pro všechny ostatní výrobky.  <i>ASHRAE 90.2-1999.</i> Požadavek na okna vyrobená pro bytovou výstavbu musí být 0,50 cfm/ft <sup>2</sup> plochy okna.  Požadavek na rychlost infiltrace vzduchu u oken, která nejsou zahrnuta pod konkrétními uvedenými specifikacemi, musí být 0,34 cfm/ft spáry okenního křídla. Požadavek na okna s pevným zasklením je 0,34 cfm/ft <sup>2</sup> plochy okna	Norma ASHRAE 90.1-99 doporučuje pro rychlost prosakování u oken a dveří v souladu s NFRC hodnotu 400. Prosakování vzduchu nesmí překročit hodnotu 5 l/s.m <sup>2</sup> pro kyvné vstupní dveře a pro turniketové dveře a hodnotu 2.0 l/s m <sup>2</sup> pro ostatní výrobky.  Posuvné dveře Rychlost infiltrace nesmí překročit hodnotu 0,5 cfm/ft <sup>2</sup> plochy posuvných dveří vyrobených pro bytovou výstavbu.  Kyvné dveře Rychlost infiltrace nesmí překročit hodnotu 1,0 cfm/ft <sup>2</sup> plochy kyvných dveří vyrobených pro bytovou výstavbu.

### 3.5 Vzájemné působení ostatních systémů na systémy vytápění a chlazení

Budovy nepředstavují uzavřené systémy, naopak, jsou to otevřené systémy vystavené proudění vzduchu, které vzniká v důsledku účelově zřízených otvorů, infiltrace/exfiltrace, vytápění, klimatizace, lokálních odtahů a otevřených topidel. Protože každé z takto popsaných proudění vzduchu vyvolává v jednotlivých místnostech přetlak nebo podtlak, je zřejmé, že se vzájemně ovlivňují.

V mírném a chladném podnebí je možné předpokládat, že systémy přirozeného větrání vyvolávají v bytových prostorách podtlak. Podobně systémy nuceného odvětrávání a systémy rovnotlakého (balanced) nuceného větrání jsou navrženy tak, aby v obytných prostorách vznikala podtlak. Za těchto okolností může systém větrání působit negativně na otevřená topeniště, protože snižuje tlak vzduchu v komíně, a tím zvyšuje nebezpečí zpětného tahu a rozptýlování zplodin hoření. Tento potenciální problém lze odbourat pečlivým návrhem systému odvětrávání a použitím uzavřených zdrojů vytápění. Další interakce mezi systémy větrání a ostatními systémy mohou nastat v případě, kdy systém větrání vyvolává tah vzduchu v nezapnutých odtahových ventilátorech a vytápěcích nebo klimatizačních subsystémech, což vede ke zvýšené infiltraci. Naopak, provoz vytápěcích a klimatizačních systémů v obytných budovách může způsobit nezamýšlené proudění ve vstupních a výstupních otvorech, které jsou součástí větracích systémů.

Systémy s nuceným přívodem vzduchu a systémy přirozeného větrání v teplejším podnebí, případně za větrného počasí, mohou vytvářet v bytových prostorách přetlak. U systémů přirozeného větrání dochází k této situaci, pokud je uvnitř udržována teplota nižší, než jaká je venku. I v tomto případě může vznikat nezamýšlené proudění vzduchu do nezapnutých odtahových ventilátorů a systémů pro vytápění nebo klimatizaci. Kromě toho může v důsledku migrace vnitřní vlhkosti směrem ven, skrze stěnové konstrukce, docházet k jejich poškození v důsledku nadměrné vlhkosti.

Těmto problémům souvisejícím s rozdílem tlaků je možné předcházet pečlivým návrhem systému větrání a jejich komponentů v kombinaci s přiměřenou vzduchotěsností stavebních konstrukcí.

### 3.6 Ekonomické vlivy

Relativní poměr nákladů na energii pro vytápění a na elektrickou energii pro nucený oběh vzduchu ovlivňuje to, jakému systému větrání bude dána přednost. V zemích, kde je vysoká cena paliva na vytápění, ale nízká cena elektrické energie, představuje tento poměr ekonomický argument pro instalování nuceného rovnotlakého větrání s rekuperací tepla. V zemích, kde je palivo používané pro vytápění relativně levné ve srovnání s elektrickou energií, je ekonomický tlak menší, protože zde pravděpodobně nedojde k dostatečné úspoře nákladů na energii.

V současné době je možné výpočtem stanovit, že ve Velké Británii jsou úspory nákladů na energii spotřebovanou pro vytápění zhruba shodné s náklady na energii související se zvýšenými náklady na provoz ventilátorů používaných pro rovnotlaké systémy s nuceným větráním a s rekuperací tepla.

Za těchto okolností by musely existovat ještě jiné přínosy než ekonomické, které by odůvodnily náklady na instalaci a údržbu systémů nuceného větrání.

## 4 KVALITA VNITŘNÍHO VZDUCHU

Kvalita vnitřního vzduchu byla popsána Světovou zdravotnickou organizací jako přijatelná, jestliže:  
maximálně 50 % obyvatel je schopno zjistit zápach,  
maximálně 20 % obyvatel má pocit nepohody,  
maximálně 10 % trpí podrážděním sliznic,  
maximálně 5 % vznikají obtíže,  
a to po dobu kratší než 2 % času.

Existuje celá řada znečišťujících látek, které mohou vyvolávat pocit nepohody, a také dalších látek, které sice neovlivňují subjektivní pocit pohody, ale mohou mít dopad na zdraví obyvatel. Tyto znečišťující látky jsou obecně odlišné, podle toho, zda vznikají v exteriéru nebo uvnitř budov.

### 4.1 Znečišťující látky vznikající uvnitř budov

Znečišťující látky vznikající uvnitř budov jsou uvolňovány ze stavebních materiálů a ze zařízení, dále vznikají v důsledku pobytu obyvatel a jejich činností a v důsledku používání topidel, jakož i s nimi souvisejících zařízení.

**Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>)** je produktem metabolismu lidí a také hoření paliv ve zdrojích tepla a při vaření. Hladina oxidu uhličitého CO<sub>2</sub> uvnitř obytných místností je proto funkcí množství obyvatel a činností, které provádějí. I když je CO<sub>2</sub> nejedovatý plyn, jeho přítomnost přispívá k pocitu únavy.

**Vlhkost** vzniká také v důsledku pobytu obyvatel a z celé řady činností. Praní prádla, koupání nebo sprchování a vaření – všechny tyto činnosti jsou zdrojem významného množství vodní páry. Také spalování fosilních paliv při vytápění nebo vaření vede k uvolňování vodních par, které se uvolňují do obytného prostoru.

Nadměrná vlhkost může vést ke kondenzaci vody na chladných površích a k poškození použitých stavebních materiálů. Spóry plísní a drobní roztoči usazení v prachu se při vysoké vlhkosti množí, přičemž bylo dokázáno, že jejich přítomnost podporuje vznik astmatu a jiných zdravotních problémů zasahujících průdušky.

**Pachy** vznikají jako produkt lidského metabolismu, uvolňují se z bytového zařízení a také při vaření. Pachy mohou být příčinou nepohody obyvatel.

**Oxid uhelnatý** je produktem nedokonalého spalování paliv, které slouží pro vytápění a vaření. Je to jedovatý plyn, který nahrazuje kyslík v krevním řečišti, takže lidskému organismu se potom nedostává kyslíku. Oxid uhelnatý má na lidský organismus škodlivý vliv, i když se vyskytuje v poměrně nízké koncentraci. V některých zemích jsou stanoveny limity pro množství emisí z topných zařízení. Nebezpečná hladina oxidu uhelnatého však může vzniknout vždy, když není zajištěn dostatečný přísuv čerstvého vzduchu, takže dochází k nedostatečnému spalování.

**Tabákový kouř** v sobě nese jak chemické sloučeniny, tak drobné znečišťující částice. V domech, kde se kouří, může tabákový kouř představovat nejvýznamnější složku znečišťující prostředí interiéru. Zatímco byl vždy tabákový kouř považován především za zdroj různých podráždění, je v současné době stále více důkazů, že může významně ohrožovat lidské zdraví.

**Prchavé organické složky (Volatile Organic Compounds/VOC)** zahrnují velké množství chemikálií s nízkým bodem varu, které unikají z nábytku a ze stavebních materiálů. Mohou se vyznačovat silným pachem a o některých je známo, že mají negativní dopad na lidské zdraví. Zvláště nový nábytek může uvolňovat značné množství těchto škodlivých látek.

**Formaldehyd** se používá při výrobě dřevovláknitých desek pro nábytkářství a výrobu stavebních materiálů. Může působit dráždivě a mít škodlivý vliv na zdraví obyvatel. V nových obytných budovách bývá často významná hladina formaldehydu, pokud se nepodniknou konkrétní opatření, aby byl jeho obsah nižší.

## 4.2 Znečišťující látky z vnějšího prostředí

Venkovní vzduch je obecně považován na čistý „čerstvý“ vzduch. Ve skutečnosti však může obsahovat významné množství znečišťujících látek, v závislosti na lokalitě a lidské činnosti, která v blízkosti domů probíhá.

**Zemědělské oblasti – znečišťující látky** mohou pocházet z přírodních i člověkem vytvořených zdrojů. Ty obvykle pocházejí z činností souvisejících se zemědělskými pracemi, ale v zemědělských oblastech se objevují i přírodní znečišťující látky.

Přírodní znečišťující látky jsou z velké části sezónní záležitostí, ale mohou vyvolávat alergické reakce, jako je astma nebo senná rýma. Nepříznivé počasí může vliv těchto znečišťujících látek ještě podpořit. Mezi typické znečišťující látky patří:

- spóry plísní,
- pyly,
- prach.

Existují legislativní úpravy, které snižují dopad znečišťujících látek používaných člověkem, mezi typické představitele patří:

- umělá hnojiva,
- herbicidy,
- insekticidy.
- V závislosti na ročním období mohou mít, stejně jako přírodní znečišťující látky, významný dopad na zdraví lidí i volně žijící zvěře.

**Průmyslové znečišťující látky** mohou zahrnovat širokou škálu chemických látek a polétavých částic a vláken. K nejvíce kontaminovaným oblastem patří obvykle okolí průmyslových závodů, a to do vzdálenosti několika kilometrů.

K typickým znečišťujícím látkám patří:

- oxidy dusíku a síry,
- ozon,
- těžké kovy,
- prchavé organické složky,
- uhlovodíky,
- kouř, drobné částice a vlákna.

Mnohé z nich jsou pro lidi škodlivé, a proto existují významné směrnice na ochranu zdraví, jako je například Rámcová směrnice EU týkající se kvality vzduchu (EU Air Quality Framework Directive [1996] ) v Evropě a Zákon o čistotě vzduchu (Clean Air Act [1990]) ve Spojených státech, které slouží ke kontrole a snížení jejich vypouštění do ovzduší

Znečištění pocházející z průmyslových zdrojů bývá produkováno obvykle rovnoměrně po celý rok. Jeho šíření ovlivňuje pouze počasí, které způsobuje někdy větší, někdy nižší možnost šíření do okolí.

**Doprava** je hlavním zdrojem proměnlivého znečišťování ve velkých obytných aglomeracích. Mezi typické znečišťující látky patří:

- oxid uhelnatý,
- saze,
- olovo,
- oxidy dusíku,
- aditiva přidávaná do paliv a nespálená paliva.

V některých městech vzniká v důsledku dopravy tak vysoké znečištění, že musejí být uplatňována přísná omezení na používání soukromých vozidel v časech, kdy hrozí vysoká koncentrace znečišťujících látek.

Nejvýznamnějšími zdroji těchto znečišťujících látek jsou hlavní silnice, dálnice a velké parkovací plochy. Stejně jako u jiných znečišťujících látek, přenášených vzduchem, ovlivňuje jejich šíření, a tím i dopad na obyvatele, počasí.

O znečišťujících látkách, jejichž zdrojem je průmyslová činnost a doprava, je známo, že mají negativní vliv na lidi, kteří trpí astmatem a ostatními průduškovými onemocněními.

**Znečišťující látky vycházející ze zemního podloží** – jestliže se jejich zdroj kryje s půdorysem budovy, mohou mít dopad na obytné prostory. Mezi tyto znečišťující látky patří:

- Radon: v přírodě se vyskytující radioaktivní plyn, který vychází ze specifických geologických vrstev, takže se vyskytuje regionálně. Pokud jsou lidé vystaveni vysokým koncentracím radonu, hrozí jim zvýšené nebezpečí karcinomu plic.
- Metan: v přírodě se vyskytuje v některých typech půd, ale častěji se objevuje jako produkt skládek odpadu, a proto je jeho výskyt lokální, podobně jako u radonu. Nemá přímý vliv na obyvatele v bytových stavbách, ale byly zjištěny – za určitých podmínek – výbušné koncentrace.
- Vlhkost: je nutné bránit jejímu prostupu ze základů, aby nemohla přispívat ke zvýšení vlhkosti vznikající provozem budovy.

## 4.3 Kontrola znečišťujících látek

### 4.3.1 Snížení koncentrace nebo kontrola zdroje

Nejefektivnější způsob, jak vyloučit škodlivý dopad znečišťujících látek, je kontrola zdroje znečištění. K tomuto účelu je možné použít legislativní opatření, která omezí nebo zabrání uvolňování škodlivých látek do okolního prostředí. Tento postup se používá především pro znečišťující látky produkované průmyslovou činností a dopravou, ale může být aplikován také na stavební materiály a nábytkářské výrobky. Existují však také znečišťující látky, jejichž výskyt legislativa neřeší, přičemž je rovněž nejvhodnější kontrolovat je u zdroje. Pokud se týká vlhkosti, která vzniká v důsledku praní, koupání a vaření, je nejvhodnější odvádět ji přímo od zdroje, zatímco plyny uvolňované z topidel by měly být odváděny přímo do vnějšího prostoru.

V obytných budovách patří, vedle kontroly zdroje, k alternativním postupům mechanismus snižování koncentrace. Jeho cílem je udržet hladinu koncentrace škodlivých látek pod stanovenou prahovou hodnotou, tím, že se znečištěný vzduch vyměňuje za čerstvý. Ideální nastavení objemu výměny vzduchu větráním je takové, aby odpovídalo vzniku znečišťujících látek. Často je mechanismus používán ke zvýšení výměny vzduchu větráním velmi razantní, tj. otevření oken nebo krokové zvýšení rychlosti ventilátoru. Existují samozřejmě i složitější metody kontroly na bázi vzniklých požadavků, ale ty se běžně neužívají.

V praxi se nachází v bytě ve stejném čase vždy větší množství znečišťujících látek. Aby se podařilo udržet tyto znečišťující látky v přijatelné koncentraci, je nutné stanovit rychlost výměny vzduchu s ohledem na dominantní znečišťující látku. Za takových okolností je možné předpokládat, že všechny méně zastoupené znečišťující látky zůstanou pod přijatelnou prahovou hodnotou. V bytových

prostorách bývá klíčovou znečišťující látkou, vyžadující zvýšený objem výměny vzduchu, obvykle důsledek některé činnosti realizované v bytě. Pokud se týká takových znečišťujících látek, jako je tabákový kouř, je objem výměny vzduchu větráním zcela ponechán na rozhodnutí obyvatel.

#### 4.3.2 Znečišťující látky z vnějšího prostředí

**Vzduchem přenášené znečišťující látky** pocházející z průmyslové a zemědělské činnosti nebo z dopravy, jsou velmi obtížně kontrolovatelné, jak ze strany projektantů, tak obyvatel bytových domů. Legislativní opatření nabízejí hlavní mechanismy kontroly, jak už bylo zmíněno výše – viz Air Quality Framework Directive v Evropě a Clean Air Act ve Spojených státech.

Dopad venku vznikajícího znečištění je možné snižovat například vhodným rozmístěním otvorů pro nasávání vzduchu – mimo zdroje znečištění, jako jsou například rušné komunikace. Tam, kde je použit vhodný způsob kontroly, si mohou obyvatelé volit snížení výměny vzduchu větráním například v časech nejrušnější dopravy. Tato opatření je možné snadněji implementovat při použití nuceného větrání než při použití větrání přirozeného. Další opatření pro kontrolu znečištění je možné použít u systémů nuceného přívodu vzduchu nebo u rovnotlakých systémů větrání, kdy je možné pomocí filtrace zachycovat vzduchem přenášené částičky při proudění vzduchu zvenku dovnitř. V budoucnosti by se mohly také využívat filtry s aktivním uhlím pro kontrolu některých plyných znečišťujících látek.

**Znečišťující látky ze zemního podloží** jsou obvykle kontrolovány na základě směrnic a instrukcí, které vycházejí většinou ze stavebního zákona nebo ze stavebních norem. Opatření prováděná s cílem zabránit prostupu plynu do obytných budov obecně snižuje nebezpečí, které obyvatelům hrozí od plynů vystupujících ze zemního podloží, jako je například radon. Tato opatření jsou v principu založena jednak na vytvoření odvětrávané mezery mezi vlastní budovou a zemínou, jednak na vložení vrstvy zabraňující prostupu plynu do konstrukce podlahy. Zábрана proti vstupu vlhkosti se řeší podobným způsobem, vložением izolační vrstvy, která zabraňuje prostupu vlhkosti, do podlahové konstrukce v přizemí, a umístěním všech nasávkových konstrukčních materiálů až nad tuto izolaci.

#### 4.3.3 Znečišťující látky vznikající v interiéru budovy

**Stavební materiály a nábytek** mohou uvolňovat VOC a formaldehyd, zejména pokud jsou nově zabudované/vyrobené. Znečišťující látky uvolňované ze stavebních materiálů je možné redukovat nebo eliminovat na základě specifikace, kterou provede projektant, aby vyloučil výrobky, obsahující vysokou koncentraci VOC a formaldehydu. Obyvatelé budov mají také možnost vybrat si nábytek, který vykazuje velmi nízké nebo žádné podobné emise, pokud jsou ovšem tyto informace k dispozici. Jestliže se zdroje nedají odstranit uvedenými způsoby, může být vhodné zvýšit rychlost výměny vzduchu v budově v počátečním období jejího využívání, aby se snížila koncentrace emisí z nových výrobků.

**V důsledku metabolismu obyvatel vzniká** kysličník uhličitý, pachy a vlhkost, které se většinou kontrolují snížením hladiny jejich koncentrace, protože specifikovaná minimální výměna vzduchu probíhající „v pozadí“ je stanovena směrnicemi a normami.

Dokonalejší kontrola rychlosti výměny vzduchu větráním vychází z výzkumů zaměřených na kontrolu požadavků. Jestliže je zjištěna vyšší hladina CO<sub>2</sub>, zvyšuje se rychlost výměny vzduchu, a pokud koncentrace CO<sub>2</sub> poklesne, rychlost výměny vzduchu se sníží. Tento způsob kontroly vede také k odbourávání větrání, které není nezbytné, ale které lze použít ke zvýšení rychlosti výměny vzduchu v těch místnostech, v nichž se shromažďují obyvatelé. To znamená, že se větrání přizpůsobuje potřebám obyvatel.

**Činnosti obyvatel**, jako je vaření, koupání a praní prádla, mohou být zdrojem vodních par, CO<sub>2</sub> a různých pachů. Kde je to možné, je vhodné odstranit tyto znečišťující látky hned u zdroje, zvýšením rychlosti odvětrávání po určitou dobu. To se odráží ve směrnicích a normách, které požadují doplňkové kontrolovatelné přirozené nebo nucené prostředky na zvýšení rychlosti větrání v kuchyních, koupelnách a na toaletách. Aby se zabránilo rozšiřování znečišťujících látek do ostatních

prostor bytu, dává se přednost nucenému odvětrání odtahem, přičemž z ostatních místností bytu je nasáván čistší vzduch.

Další významnou znečišťující látkou v bytových domech je tabákový kouř. Směrnice a normy často vyžadují, aby se v bytech dala uplatnit metoda zvýšeného větrání, jako jsou otvíratelná okna a možnost vysoké výkonnosti ventilátorů. Bylo zjištěno, že domácnosti, v nichž žijí kuřáci, velmi často využívají tyto možnosti větrání, aby tak snížily dopady kouření.

**Topná zařízení**, jako jsou kamna, bojler a sporáky, potřebují dostatečný přívod vzduchu, aby bylo zajištěno bezpečné hoření paliva. Kde je to možné, měla by mít tato zařízení samostatné připojení na vnější vzduch, aby měla dostatečný přívod vnějšího vzduchu, který by neovlivňoval zbývající část budovy. Zplodiny hoření by také měly být odváděny přímo, mimo budovu. Tam, kde jsou takováto zařízení instalována uvnitř budovy, je třeba zajistit dostatečný přívod vzduchu, zajišťující správné hoření a rozptýlování zplodin hoření. Pokud jde o vařiče a sporáky, obvykle dostačují opatření používaná pro odvod znečišťujících látek, které vznikají při jiných činnostech, ale kotle a topná zařízení vyžadují další opatření, určená jenom pro ně. To je obvykle ošetřeno v normách a směrnících, jako je ve Velké Británii stavební řád – část F.

#### 4.4 Normy pro kvalitu vnitřního vzduchu

WHO vydala doporučení – ne předpisy – pro celou řadu znečišťujících látek, přenášených vzduchem.

V tabulce 4.1 jsou shrnuty Směrnice WHO (1999a), (<http://www.who.int/peh/air/Airqualitygd.htm>) a Směrnice pro kvalitu vzduchu (Anglie) 2000 (<http://www.defra.gov.uk>, prostředí, kvalita vzduchu) pro celou řadu konkrétních znečišťujících látek.

Informace o normách v jednotlivých zemích je možné najít u Limba [2001] a v ASHRAE Standard 62-1989: Větrání zajišťující přijatelnou kvalitu vnitřního vzduchu.

Tabulka 4.1: Směrnice udávající dobu expozice pro jednotlivé látky

Látka	Průměrná doba	Směrná hodnota koncentrace ve vzduchu		Zdroj/poznámky
		Hmotnostní	Objemová	
Arzenik	Po celý život			Odhad 1 500 úmrtí na rakovinu na 1 milion obyvatel při celoživotní expozici $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (1)
Benzen	1 rok (průběž.) života	5 ppb	$16,25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	(2) Odhad 4,4 – 7,5 úmrtí na rakovinu na 1 milion obyvatel při celoživotní expozici $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (1)
1,3-butadien	1 rok (průběž.)	1 ppb	$2,25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	(2)
Oxid uhelnatý	15 min. 30 min. 1 hod. 8 hod. (průběž.)	- - - -	$100 \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ $60 \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ $30 \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ $10 \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	(1) (1) (1) (1)
Chrom	Po celý život	-	-	Odhad 11 000 až 13 000 úmrtí na rakovinu na 1 milion obyvatel při celoživotní expozici $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (1)
Dichloro- metan (metyl- chlorid)	24 hod.	0,84 ppm	$3 \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	(1)
Formalde- hyd	30 min.	80 ppb	$100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	(1)
Sirovodík	30 min. 24 hod.	- -	$7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	(1) (1)
Olovo	1 rok	-	$0,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	(1)
MMVF – RC (3)	Po celý život	-	-	Odhad 40 000 úmrtí na rakovinu na 1 milion obyvatel při celoživotní expozici $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (1)
Mangan	1 rok	-	$0,15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	(1)
Rtuť	1 rok	-	$1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	(1)
Nikl	Po celý život	-	-	Odhad 380 úmrtí na rakovinu na 1 milion obyvatel při celoživotní expozici $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (1)
Oxid dusičnatý	1 hod. 1 rok	- -	$200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	(1) (1)
Ozon	8 hod.	-	$120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	(1)
PM <sub>10</sub> (4)	24 hod.  1 rok	-  -	$50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	Nemá být překročeno vícekrát než 35krát za rok (2) (Průměr) (2)
Radon	Po celý život	-	-	Odhad 36 úmrtí na rakovinu na 1 milion obyvatel při celoživotní expozici $1 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (1)
Oxid siřičitý	10 min. 24 hod. 1 rok	- - -	$500 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ $125 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	(1) (1) (1)
Tetrachloro- etylen	30 min. 24 hod.	- -	$8\,000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ $250 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	(1) (1)
Toluen	30 min. 1 týden	- -	$1\,000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ $260 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	(1) (1)
Trichloro- etylen	Po celý život	-	-	Odhad 1 úmrtí na rakovinu na 1 milion obyvatel při celoživotní expozici $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (1)

Poznámky: (1) Směrnice WHO (1999a) (2) Směrnice pro kvalitu vzduchu (Anglie) (2000)  
(3) MMVF – umělá skelná vlákna, RC – ohnivzdorná keramická vlákna (4) Částice < 10 μm průměr

## 5 Spolupůsobení obyvatel

Aktuální účinnost větracích systémů bude vždy ovlivněna chováním obyvatel, kteří žijí v budově, a dalšími faktory ovlivněnými projekčním a provozním návrhem.

Byla zpracována celá řada mezinárodních a národních studií zabývajících se interakcí obyvatel s větracími systémy. Liddament [2000] shrnuje jejich výsledky v souvislosti s větráním obytných budov, na které byly zaměřeny:

- IEA ECBCS, příloha 8, Chování obyvatel, pokud se týká větrání [Dubrul, 1988]
- IEA ECBCS, příloha 27, Vyhodnocení a demonstrování systémů větrání obytných domů [Månsson, 2000]
- Švédský průzkum zaměřený na spotřebu energie a na vnitřní klima (studie ELIB), 1992
- Francouzská studie: Větrání bytů: průzkum přístupu a chování obyvatel [Lemaire et al, 1998]

### 5.1 Sledované jednání obyvatel, ovlivňující systémy větrání a jejich kontrolu

#### 5.1.1 Důvody pro větrání a naopak pro nevětrání, jak je uvádějí obyvatelé

Jako součást přílohy 8 k této práci kladly spolupracující země dotazy na důvody, proč obyvatelé větrají, nebo naopak nevětrají své byty. Mezi důvody pro větrání byly uváděny:

- Přivést čerstvý vzduch do obytných místností.
- Odstranit zápach.
- Odstranit vydýchaný vzduch a kondenzaci.
- „Provětrat“ byt v průběhu různých domácích činností.
- Odstranit tabákový kouř.

Mezi důvody pro nevětrání byly uváděny:

- Zabránit vzniku průvanu.
- Udržovat požadovanou teplotu.
- Chránit se proti chladu a dešti.
- Uchovat si soukromí a bezpečnost.
- Snížit působení hluku a znečištění, přicházejících zvenku.

#### 5.1.2 Použití oken

Otevírání oken je jedním z nezákladnějších způsobů, jak obyvatelé realizují svoji kontrolu, a průzkum uvedený v příloze 8 prozrazuje široké využívání otevírání oken pro kontrolu vnitřního prostředí. Výsledky trendů otevírání oken jsou shrnuty v tabulce 5.1.

#### 5.1.3 Použití systému pasivního odtahu (Passive Stack Ventilation/PSV)

Systémy větrání pomocí pasivního odtahu jsou uvedeny ve studii Oseland [1995]. Výsledky ukazují, že z domů, ve kterých byl instalován systém PSV, byly odtahy zablokovány jenom v 7 % kuchyní a 8 % koupelen. Na rozdíl od ventilátorů pro nucený odtah byla většina systémů PSV trvale využívána. Problémy se systémy PSV uváděl menší počet obyvatel, než z domů vybavených ventilátory pro nucený odtah.

#### 5.1.4 Použití systému nuceného větrání

Z francouzské studie vyplývá, že jednoduché (odtahové) větrání bylo instalováno asi v 17 % všech domů. Téměř čtvrtina domácností, vybavených systémy nuceného odtahu, uvádí, že jej často nebo dosti často vypínají, zatímco významný počet (23 %) nemohou obyvatelé vypínat vůbec.

Téměř všechny systémy nuceného odvětrávání, prošetřované v příloze 8, vykazovaly určitý stupeň závad. Mezi ně patřily:

- Nepříjemná hlučnost

- Vznik nepříjemného průvanu
- Vysoká spotřeba energie
- Navržená rychlost toku vzduchu byla nepřiměřená
- Přenos zápachu
- Vadná instalace
- Nedostatečné instrukce pro uživatele
- Omezený přístup pro uživatele

Tabulka 5.1: Zjištěné trendy otevírání oken

Faktor	Zjištěné trendy
Počet obyvatel	Otevírání oken je častější, je-li přítomen větší počet obyvatel.
Věk obyvatel	Množství otevřených oken a větrání se snižuje se zvyšujícím se věkem obyvatel.
Vnější teplota	Otevírání oken se snižuje se snižující se vnější teplotou, i když významný počet oken zůstává otevřených při tak nízkých teplotách, jako je -5 °C..
Sluneční svit	Více oken bývá otevřeno na osluněné straně budovy než na zastíněné.
Rychlost větru	Otevírání oken se snižuje se stoupající rychlostí větru.
Otevírání ve dne	Pokud nejsou v domě přes den přítomni obyvatelé, okna obvykle zůstávají zavřená.
Otevírání v noci	Značný počet oken zůstává otevřených v noci v ložnicích, a to i za chladného počasí.
Otevírání o víkendu	Okna jsou častěji otevírána o víkendu než v průběhu ostatních dnů v týdnu.
Nastavení termostatu	Čím výše si domácnost nastaví termostat, tím méně otvírá okna.
Činnosti obyvatel	Důvody pro otevírání oken jsou vysávání a větrání peřin, vaření, problémy s pachy a vlhkostí.
Kouření	V domácnostech, kde se kouří, jsou okna otevírána dvakrát častěji než v domácnostech, kde se nekouří.
Využití energie	Lze vysledovat jen nízkou korelaci mezi záměrem šetřit energií a otevíráním oken. Přesto se vyskytuje větší tendence otvírat okna u budov, v nichž se spotřeba energie neměří konkrétně u jednotlivých obyvatel.

### 5.1.5 Použití rovnotlakých systémů nuceného větrání

Hill [1998] uvádí průzkum, který byl proveden u obyvatel Kanady, s cílem vyhodnotit účinnost systému nuceného větrání s rekuperací tepla. Kromě průzkumných prací byly také prováděny testy ve vzorových bytech, aby se zjistila skutečná účinnost.

Většina systémů byla v provozu, a obyvatelé byli přesvědčeni o jejich výhodnosti. Potenciál těchto systémů však mohl přinášet mnohem větší zisky, a bylo možné dosáhnout významného zlepšení vhodnějším způsobem instalace, lepším využíváním systému, lepším porozuměním ze strany obyvatel a lepší interakcí mezi obyvateli a systémem.

### 5.1.6 Použití „automatických“ kontrol

**Regulátory vlhkosti** bývají často osazovány na odtahové ventilátory umístěné ve „vlhkých“ místnostech bytů, aby zajišťovaly automatickou kontrolu, jestliže je při činnosti ventilátoru zjištěna zvýšená vlhkost, což snižuje nutnost interakce obyvatel se systémem.

Podrobná analýza čidel byla provedena jako součást ECBCS, příloha 18 [Månsson a kol. 1997]. Bylo zjištěno, že účinnost je velmi proměnlivá, protože většina čidel vyžadovala velmi častou recalibraci a občas se u nich objevovaly významné výpadky. Běžně používané typy regulátorů vlhkosti, které byly instalovány v bytech za účelem kontroly relativní vlhkosti, vykazovaly velmi často hrubé nepřesnosti, odečítané hodnoty se měnily v čase a nebyly k dispozici žádné vyhovující prostředky pro kalibraci těchto regulátorů. Přesto se zdálo, že systémy využívající kontrolu vlhkosti jsou slibné.

Boyd a kol. [1989] vyvodili ze své práce realizované ve Velké Británii, že ventilátory o nízkých rychlostech nejsou schopny zabránit kondenzaci, a že je obtížné již vzniklou kondenzaci odstranit, dokonce i s pomocí zdokonaleného chodu kontrolních regulátorů vlhkosti.

V Kanadě Buchan a kol. [1986] zjistili, že v prověřovaných domech nebyla zjištěna žádná přímá závislost mezi kontrolou vlhkosti a snižováním problémů s vlhkostí.

**Kontrola přítomnosti osob pomocí infračervených paprsků (Presence Infra Red Controls/ kontrola PIR)** představuje poměrně nový způsob řízení větrání v bytových domech. Tento typ kontroly zapíná ventilátor, jestliže je v místnosti, v níž je ventilátor osazen, zjištěna přítomnost nějaké osoby, přičemž se obvykle používá určitý časový přesah. Výhodou tohoto systému jsou nízké náklady a vysoká spolehlivost. Kontrola PIR se používá v kombinaci s větracími systémy kontrolovanými na základě požadavků.

### 5.1.7 Ostatní výzkumy

**Používání vody a vznik vlhkosti** v domech může vést k nebezpečí růstu plísní. V příloze 27 se odhadovaná typická spotřeba vody v bytech pohybuje mezi 140–250 litry/den, přičemž voda se používá pro řadu účelů:

- Praní a sušení oděvů – se v bytech uskutečňuje několikrát týdně, méně často v bytech obývaných starými lidmi. Problém s vlhkostí se objevuje, když se prádlo suší uvnitř bytu nebo když je sušička prádla odvětrávána dovnitř do bytu.
- Sprchování – během 5 minut může vést ke vzniku až 100% relativní vlhkosti. Příloha 27 uvádí, že se, v závislosti na věku, pravidelně sprchuje 70–85 % lidí.
- Vaření – je zdrojem vodní páry, a pokud se vaří na plynu, připojují se i zplodiny hoření. Digestoře s nuceným odsáváním dokážou odhadem odvést až 70 % vzniklé vlhkosti.

**Kouření** vyžaduje mnohem silnější větrání, aby se minimalizovalo nebezpečí související s tabákovým kouřem. Přibližně 30 % dospělé populace tvoří kuřáci.

**Čištění ventilátorů a systémů větrání** provádí podle francouzské studie nejméně jednou ročně 2/3 obyvatel.

**Celková spokojenost se systémem** je ve francouzské studii uváděna u více než 73 % obyvatel bytových domů a 87 % obyvatel rodinných domů.

**Špatné zdraví obyvatel** – na to si podle francouzské studie stěžuje více než 59 % obyvatel z těch, kteří nejsou spokojeni se svým systémem větrání.

## 5.2 Vliv obyvatel na celkové větrání a rychlost výměny vzduchu

Příloha 8 udává další sezonní rychlost výměny vzduchu jako důsledek využívání větrání okny. Definuje jej jako:

Malé používání oken:	0,0 – 0,1 ach
Průměrné používání oken:	0,1 – 0,5 ach
Velké používání oken:	0,5 – 0,8 ach

Průměrné zvýšení rychlosti výměny vzduchu v důsledku jednání obyvatel bylo stanoveno na 0,32 ach u bytů s přirozeným větráním a 0,34 ach u bytů s nuceným větráním.

Švédská studie udává, že v průměru byla rychlost výměny vzduchu větráním nižší než 0,5 ach ve více než 80 % všech rodinných domů a ve více než 50 % všech bytových domů. To znamená, že méně než 50 % všech bytových domů má rychlost výměny vzduchu vyšší než 10 l/s na obyvatele.

Iwashita a kol. [1997] provedli průzkum bytových domů v Japonsku, přičemž hodnotili vnitřní prostředí a chování obyvatel v průběhu období, kdy bylo měřeno větrání. Nejdůležitější rozdíl, k němuž došli, je to, že existuje velký rozdíl mezi průměrnou základní rychlostí výměny vzduchu a průměrnou celkovou rychlostí výměny vzduchu. Pokud se provede srovnání základní rychlosti výměny vzduchu a rychlosti výměny vzduchu ovlivněné obyvateli, vyplývá z toho, že celých 87 % celkové rychlosti výměny vzduchu je způsobeno chováním obyvatel.

### 5.3 Vliv obyvatel na spotřebu energie

Hlavním záměrem studie v příloze 8 bylo vyhodnotit dopad větrání bytů na spotřebu energie a vyhodnocení přínosů, kterých lze dosáhnout, jestliže se vyloučí nadměrná výměna vzduchu. Dopad na spotřebu energie v důsledku odhadovaného zvýšení větrání daného chováním obyvatel pro vytápění v mírném podnebí byl odhadnut jako zvýšení energie až o 6 000 MJ/250 m<sup>3</sup> plochy bytu za topnou sezonu.

Shorrock a kol. [1992], s podporou následné analýzy z Liddamenta [1996], odhadují přibližnou průměrnou rychlost výměny vzduchu na 0,92 ach. Ze srovnání s minimální průměrnou (průběžnou) potřebou větrání 0,5 – 0,6 ach je řádově potenciální úspora energie s použitím účinného větrání při minimálním otevírání oken z iniciativy obyvatel podobná, jako vyplývá z přílohy 8 ke studii.

### 5.4 Vzdělávání obyvatel

Nejdůležitější částí studie v příloze 8 bylo určit, zda je možné pomocí vzdělávání obyvatel zlepšit jejich zvyklosti týkající se větrání, a dosáhnout tak toho, aby ovládali kontrolní prvky systémů větrání efektivněji, tj. „modifikovat“ jejich chování. Aby toho bylo možné dosáhnout, byl vypracován speciální soubor instrukcí zaměřených na kontrolu větrání v jedné z monitorovaných budov. Uplatnění těchto instrukcí vedlo k poněkud sníženému využívání větrání, které nebylo nezbytné (otevírání oken). Ostatní závěry, obdobně jako u jiných studií, byly následující:

- Projektanti a provozovatelé by měli obyvatelům poskytnout prostředky pro nastavování vnitřního klimatu, které by jim umožňovaly vyhovět jejich potřebám, a dokonalejší kontrola musí být zaměřena na okenní otvory (tj. použití malých oken a ventilačních křídel, které je možné používat pro větrání v zimě).
- Informační kampaně jsou nutné k tomu, aby se podařilo vysvětlit, jak využívat větrací otvory a zabránit znečištění vnitřního vzduchu.
- Obyvatelé musejí chápat vliv větrání, zejména jeho vliv na jejich zdraví.
- Proto je důležité, aby byly specifikovány návody pro větrání.

### 5.5 Rady pro obyvatele

Základní rady pro obyvatele, zaměřené na kvalitu vnitřního vzduchu (internal air quality/IAQ), tepelnou pohodu a účinný provoz větracích systémů, uvádí Liddament [2000]. Kroky, které mohou obyvatelé podnikat kvůli IAQ a tepelné pohodě, se týkají jak bytových, tak nebytových budov, a je možné, že obyvatelé bytových domů nebudou moci provádět všechny tyto kroky. Rady týkající se účinného provozování větracích systémů vycházejí z ponaučení získaných z provedených behaviorálních studií. Rady jsou shrnuty v následující třech tabulkách.

*Tabulka 5.2: Činnost obyvatel – kvalita vnitřního vzduchu*

<b>Pokud se chtějí zaměřit na kvalitu vnitřního vzduchu, měli by obyvatelé provést následující činnosti:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prověřit kvalitu vnějšího vzduchu.</li> <li>• Zkontrolovat vzduch přiváděný systémem větrání a zjistit znečišťující látky, které se v příslušné lokalitě mohou vyskytovat (např. prach, plísně atd. objevující se ve větracích prostupech).</li> <li>• Lokalizovat a eliminovat nebo ohraničit všechny vnitřní zdroje znečišťujících látek.</li> <li>• Zkontrolovat koncentraci pachů a/nebo CO<sub>2</sub>; pokud tato koncentrace dosahuje nejvyšších hodnot při největším počtu přítomných obyvatel, potom jsou primárním zdrojem znečištění pravděpodobně obyvatelé. Zvyšte rychlost výměny vzduchu ve všech obytných zónách na minimálně 8–10 l/s vnějšího vzduchu na každého obyvatele.</li> <li>• Vyloučit kouření.</li> <li>• Nesušit prádlo v interiéru, pokud se nejedná o větrané zóny.</li> <li>• Zajistit, aby byly všechny „vlhké“ zóny vybaveny účinným odtahovým větráním.</li> </ul>

Tabulka 5.3: Činnost obyvatel – tepelná pohoda

<b>Jestliže je nevyhovující tepelná pohoda, měli by obyvatelé provést následující činnosti:</b>
<b>Nedostatečně teplo:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zkontrolovat systém vytápění.</li> <li>• Zkontrolovat a upravit zdroje infiltrace a průvanu.</li> <li>• Zkontrolovat, zda systémy nuceného větrání nepřivádějí nadměrné množství vzduchu zvenku.</li> </ul>
<b>Přehřívání:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimalizovat vnitřní tepelné zdroje vypnutím všech elektrických spotřebičů, jejichž provoz není nezbytný.</li> <li>• Použít vnější zařízení, která brání přístupu slunečního svitu.</li> <li>• Zavést strategii nočního ochlazování, aby se ochladily stavební materiály, v nichž se akumuluje teplo.</li> <li>• Větrat okna v maximálním rozsahu, ještě předtím, než se zvýší vnitřní teplota na nepříjemnou úroveň.</li> <li>• Když se vnější teplota zvýší natolik, že překračuje vnitřní teplotu, snížit větrání na minimum. (Uvědomte si však, že zavřená okna mohou vést k ještě větším tepelným ziskům, nezapomeňte proto na vnější stínění oken, obrácených na osluněnou stranu.)</li> </ul>

Tabulka 5.4: Směrnice pro účinné větrání bytů

<b>Systémy nuceného větrání používané v celém objektu:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seznamte se se systémem a s jeho účelem a pochopte ho.</li> <li>• Neutěšňujte větrací mřížky, ani jinak nebraňte proudění vzduchu v nich, neodpojujte systém.</li> <li>• Při vysoké vlhkosti použijte intenzivní odvětrání atd.</li> <li>• Vyhýbejte se nadbytečnému otevírání oken během doby, kdy probíhá vytápění (nebo nucené chlazení).</li> <li>• Zajistěte pravidelný úklid a údržbu systému.</li> </ul>
<b>Účelově přizpůsobené přirozené větrání s větracími otvory, odtahy a/nebo lokálními odvody atd.</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Udržujte trvalé minimální větrání ve všech místnostech, každý den, tím, že zajistíte, že ventilační otvory budou stále otevřené.</li> <li>• Ložnice a obývací pokoje větrejte denně otevřením oken po dobu 10–20 minut (např. během úklidu).</li> <li>• Při vaření zapněte odtahové ventilátory, na maximum otevřete pasivní odtah, případně otevřete okno. Maximální větrání ponechte ještě po dobu 10–20 minut po skončení vaření.</li> <li>• V průběhu sprchování a po jeho ukončení zapínejte ventilátory pro odtah, nebo otevřete okna. Ventilační otvory ponechte několik hodin otevřené.</li> <li>• Nepřipusťte, aby vnitřní teplota poklesla pod 16 °C, protože potom prudce klesá schopnost vzduchu pohlcovat vlhkost, a tím se zvyšuje nebezpečí kondenzace.</li> </ul>

## 6 Další problémy při projektování

### 6.1 Bezpečnost

**Zpětný tah.** Při otevřeném odtahu z topidel může docházet ke zpětnému tahu do obytných prostor, jestliže ventilační systémy způsobují, že tlak uvnitř je nižší než tlak venku. Je proto třeba zajistit, aby byla rychlost přiváděného vzduchu vyšší než rychlost vzduchu odváděného, takže bude v obytných prostorách udržován mírný přetlak. Přitom je důležité, aby větrací systém přiváděl dostatek čerstvého vzduchu, který splní potřebu z hlediska hoření v topidlech, jakož i potřebu dalšího čerstvého vzduchu v obytném prostoru. Směrnice obvykle řeší samostatně větrání pro otevřený tah z topidel a větrání pro ostatní účely.

**Plyn radon** unikající z podloží může znamenat ohrožení zdraví, pokud je jeho koncentrace příliš vysoká. Kontrola se obvykle provádí prostřednictvím opatření, která zabraňují vstupu plynu do objektu. Tato opatření obvykle sestávají z vytvoření odvětrávaného volného prostoru mezi zeminou a budovou a vložením protiplynové bariéry do konstrukce podlahy v přízemí.

### 6.2 Umístění vstupních/výstupních větracích otvorů

#### 6.2.1 Opětovné nasávání

Umístění vstupních větracích otvorů vzhledem k umístění výstupních větracích otvorů by mělo být provedeno vždy tak, aby se vypouštěný vzduch nemohl mísit s přiváděným čerstvým vzduchem. Tento problém se nejčastěji objevuje u systémů rovnotlakého nuceného větrání, ačkoli i některé varianty systémů s pasivním odtahem mohou vést ke vzniku podobných problémů.

Vypouštěný vzduch je obvykle neutrální, pokud se týká jeho lehkosti, proto je jeho rozptýlení ve vnějším vzduchu z největší části ovlivňováno směrem převládajících větrů a způsobem, jakým vzduch obtéká budovu. Pro relativní vzájemné umístění vstupních a výstupních otvorů platí následující zásady:

- Vstupní otvory by měly být umístěny co nejdále od zdrojů znečištění, jak je to jen prakticky proveditelné.
- V lokalitách, kde je znám směr převládajících větrů, by měly být umístěny ve vztahu k výstupním otvorům proti směru větru.
- V lokalitách, kde se směr větru často mění, by měly být vstupní otvory umístěny níže než výstupní otvory.

I při dodržování těchto jednoduchých instrukcí však není možné vyhnout se úplně zpětnému nasávání, a to v těch místech, kde dochází k proudění vzduchu, které vyvolává jeho recirkulaci, jak se to stává na závětrných fasádách domů.

#### 6.2.2 Znečištění

Znečištění vnějšího prostředí může mít velmi negativní vliv na kvalitu vnitřního vzduchu. Vliv některých znečišťujících látek je možné snížit – u systémů s nuceným přívodem a u systémů s rovnotlakým nuceným větráním – pečlivým zvolením umístění vstupních otvorů.

**Znečištění vlivem dopravy** je obecně vždy jasně lokalizováno, a proto má větší vliv na budovy, které se nacházejí v blízkosti zdroje znečištění. Koncentrace znečišťujících látek vzniká vždy v místech, kde se doprava pohybuje jenom pomalu, nebo kde auta stojí a přitom mají spuštěné motory. Studie dokládají, že koncentrace znečišťujících látek vznikajících v důsledku dopravy se snižuje s výškou. Proto by měly být otvory pro přívod vzduchu umístěny mimo místa, kde doprava stojí nebo se pomalu pohybuje, a současně co nejdříve.

**Lokální zdroje znečištění** jiné než doprava – také mohou existovat, a měly by se brát v úvahu při umístění otvorů pro přívod vzduchu. Mezi takové zdroje patří:

- odvětrání z kanalizace
- odvětrání kotlů
- stojaté vody
- římasy, na kterých hřadují ptáci (potenciální biologická kontaminace)
- zarostlé plochy (potenciální zdroj spór plísní a pylu)
- plochy, na nichž se může hromadit odpad

### 6.3 Tepelná pohoda

Aby si mohlo lidské tělo zachovat konstantní teplotu, je nutné, aby se tepelné ztráty z těla do okolní atmosféry rovnaly metabolické energii, kterou tělo vytváří.

Vnímání tepelné pohody je ovlivněno celou řadou parametrů, které vytvářejí tepelné prostředí, a také rychlostí metabolismu (látkové výměny). Mezi tyto parametry patří:

- teplota vzduchu
- střední radiační teplota
- rychlost proudění vzduchu
- turbulence vzduchu
- vlhkost
- úroveň oblečení
- činnost
- asymetrie radiace

Jedním z měřítek, která se používají ke stanovení tepelné pohody, je suchá výsledná teplota. Vzniká kombinací teploty vzduchu, střední radiační teploty a rychlosti proudění vzduchu, jak je patrné z následující rovnice:

$$t_c = \frac{t_{ai} (10v)^{0.5} + t_r}{1 + (10v)^{0.5}}$$

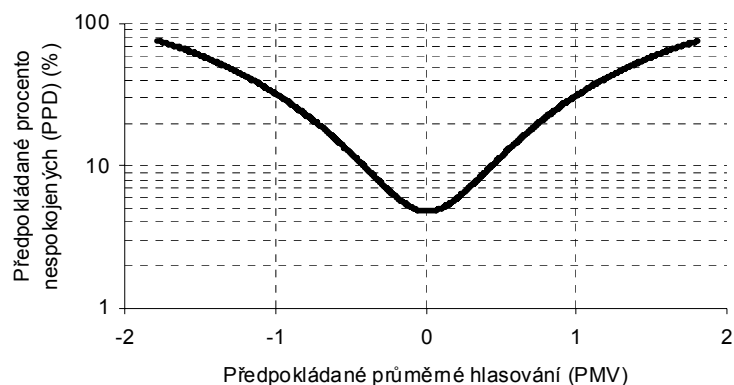
$t_c$	suchá výsledná teplota (°C)
$t_{ai}$	vnitřní teplota vzduchu (°C)
$t_r$	střední radiační teplota (°C)
$v$	rychlost vzduchu (m/s)

Alternativním měřítkem tepelné pohody je předpokládané průměrné hlasování (Predicted Mean Vote/PMV). V něm se kombinuje teplota vzduchu, střední radiační teplota, pohyb vzduchu a jeho vlhkost s úrovní oblečení a činnosti do jedné rovnice, kterou odvodil Fanger a která je podrobněji rozvedena v ISO 7730. Hodnoty PMV lze vztáhnout na předpokládané procento nespokojených obyvatel (predicted percentage of occupants dissatisfied/PPD) s použitím rovnice uvedené níže a graficky znázorněné na obrázku 6.1.

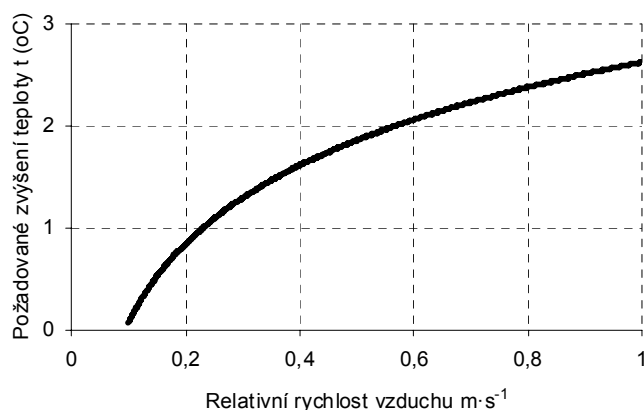
$$PPD = 100 - 95 \exp [-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)]$$

Při nízké rychlosti pohybu vnitřního vzduchu je teplota vzduchu, při které se obyvatelé cítí v pohodě, závislá na úrovni jejich oblečení a na činnosti, kterou vykonávají.

Proudění vzduchu má velmi významný dopad na pocit pohody. Příliš rychlé proudění vzduchu během zimních měsíců (rychlost vzduchu vyšší než 0,3 m/s), zejména ve výši krku, vede k pocitu nepohody. CIBSE Guide A udává, že zvýšenou rychlost proudění vzduchu je možné vyrovnat zvýšením teploty vzduchu – viz obrázek 6.2. V letních měsících může zvýšené proudění vzduchu naopak představovat výhodu, protože jeho důsledkem je další ochlazování.



Obrázek 6.1: Vztah PPD a PMV



Obrázek 6.2: Zvýšení teploty vzduchu v závislosti na rychlosti jeho proudění

Průvan může vznikat nejen v důsledku příliš velké rychlosti výměny vzduchu větráním, ale jako důsledek návrhu a umístění větracích otvorů. Účelově vytvořené přívodní otvory nebo přívodní otvory pro nucené větrání musejí být navrženy tak, aby bylo zajištěno dostatečné smíchání čerstvého chladného vzduchu s teplejším vzduchem v místnosti, a to ještě dříve, než se tento přiváděný vzduch dostane do kontaktu s obyvateli.

## 6.4 Hluk

Při návrhu větracích systémů je třeba také brát v úvahu hluk. Existují tři potenciální zdroje hluku:

- Vnější hluk z okolí budovy.
- Hluk, který vzniká přímo ve větracím systému (hluk ventilátorů).
- Hluk, který se přenáší z větracích kanálků a průduchů do sousedících místností nebo bytů.

Kterýkoli z těchto zdrojů hluku může vést k nespokojenosti se systémem větrání. Znamená to, že systém nebyl navržen tak, aby v něm nevznikal nadměrný hluk.

Významnost každého z těchto zdrojů hluku závisí na tom, jak byl systém větrání navržen, jak vyplývá z tabulky 6.1.

Tabulka 6.1: Významnost hluku

	<b>Přírozené větrání</b>	<b>Nucené odvětrání</b>	<b>Rovnotlaké nucené</b>
Vnější hluk	významný	podružný	podružný
Hluk systému	nevzniká	významný	významný
Přenášený hluk	podružný	podružný	významný

#### 6.4.1 Vnější hluk z okolí budovy

Hluk vznikající v důsledku dopravy, průmyslových procesů a ostatních činností probíhajících venku může představovat uvnitř bytů významný rušivý prvek, pokud není fasáda domu vybavena vhodnými bariérami, které brání přenosu hluku. Typické normy, které udávají hladinu zvuku v důsledku vnějšího hluku, uvádějí hodnotu 35 dB(A), ale některé státy mají požadavky přísnější 30 dB(A) (Švédsko, Finsko).

Hladina zvuku v místnosti, která vzniká jako důsledek hluku přicházejícího zvenku budovy, je funkcí vlastností fasády, které zajišťují snížení hluku a pohltivosti místnosti. Hluk je schopen procházet fasádou řadou cest, z nichž některé souvisejí se systémem větrání. Tyto cesty jsou tvořeny:

- prvky obvodových stěn
- okny
- trhlinami a spárami mezi komponenty
- účelovými otvory v souvislosti s větráním

Trhliny v komponentech obvodového pláště a mezi nimi lze minimalizovat pečlivým návrhem, pečlivým provedením konstrukce a provedením kvalitního těsnění kolem oken a dveří. Tato opatření však zároveň snižují infiltraci, a tato skutečnost pak vyžaduje alternativní účelové větrací otvory.

Účelové větrací otvory mohou být vybaveny zvukovou izolací, aby se zlepšila akustická situace v objektu. Kromě těsnění kolem oken a dveří se jedná o nejúčinnější opatření, které zlepšuje zvukově izolační vlastnosti fasády.

Zvukově izolační vlastnosti oken lze zlepšit použitím dokonalejšího zasklení. Typické dvojsklo, 4mm sklo – 12mm vzduchová mezera – 6mm sklo, je možné zaměnit za dvojsklo s lepšími zvukově izolačními vlastnostmi, 8mm sklo – 20mm mezera plněná plynem – 10mm sklo.

Také může být nutné – v případě, že má obvodový plášť dobré zvukově izolační vlastnosti – uplatnit zvukově izolační požadavky na odbočky odvětrávacích kanálků nebo trubek pasivního odtahu. Pokud jsou však zvukově izolační vlastnosti obvodového pláště špatné, mají tyto kanálky na hladinu hluku v místnosti jen malý vliv.

#### 6.4.2 Hlučnost systému větrání

Hluk vznikající v systému větrání vychází z ventilátorů a je to také aerodynamický hluk z tvarovek (fitinků) a výstupních prvků. Většina států stanovuje mezní hladinu hluku v místnostech v důsledku větracích systémů na 30 dB(A).

Typické ventilátory pro rodinné domy vykazují A-váženou hladinu tlaku zvuku 60 až 65 dB(A). Hluk, který je generován ventilátorem, se šíří systémem rozvodů kanálků. Pokud nejsou aplikována žádná zvukově izolační opatření, v místnostech bude hladina zvuku 30 až 45 dB(A). Aby se podařilo snížit hladinu hluku, je potřeba umístit zvukově izolační materiály bezprostředně za přívodní ventilátor, ale také před jakékoli rozdvojení.

Jako tlumiče pro větrací systémy v bytech se obvykle používají ohebné, perforované roury, obalené minerální vatou a vnější rourou. Účinnost je omezena, pokud jsou rozměry roury větší než 250 mm, ale při menších rozměrech se tyto systémy snadno zabudují do systémů rozvodů.

Ventilátory je také vhodné osazovat na antivibrační podložky nebo kotvy a připojovat k rozvodům pružnými spojkami.

Aerodynamický hluk lze rovněž minimalizovat pečlivým návrhem, konkrétně:

- Maximální rychlosti nesmějí být vyšší než 4 m/s v hlavním rozvodu a 2 m/s ve větvích.
- Kde je to možné, mají se používat rozvody kruhového průřezu.
- Je třeba vyhýbat se ostrým ohybům a změnám průřezů.

Výrobci uvádějí informace o akustickém vlivu svých koncových zařízení. Toho lze využít při volbě vhodných koncových zařízení, aby bylo možné dosáhnout požadovaných hladin zvuku v místnostech.

### **6.4.3 Přenos zvuku v rámci bytu a mimo byty**

Zvuk se může přenášet mezi byty nebo mezi místnostmi prostřednictvím rozvodů větracích systémů nebo vnitřními průduchy, které jsou součástí větracích systémů. Normy obvykle udávají index průměrného snížení hlasitosti v pásmu 125 až 2 000 Hz, přičemž normy přenosu mezi byty jsou vyšší (50 až 54 dB) než normy pro přenos hluku uvnitř bytu (34 dB).

Společné rozvody mezi byty, které slouží pro systémy nuceného rovnotlakého větrání nebo pro systémy přirozeného větrání, vyžadují některá zvukově izolační opatření, obvykle použití zvukově izolačních materiálů nebo tlumičů mezi koncovými prvky. Podobná opatření mohou být požadována také pro rozvody mezi místnostmi v rámci jednoho bytu.

Když spolu v místnosti sousedí vyústění odtahu a dveře, může vznikat problém se vzájemným rušením („přeslechy“). Nejlepší je, jestliže se podaří vyhnout se takové situaci vhodným projekčním řešením. Pokud je však taková situace nevyhnutelná, lze dosáhnout zlepšení celkové funkce příčky zlepšením zvukově izolačních vlastností ostatních prvků stěny.

## **6.5 Vzhled**

Zařízení a prvky související s větracím systémem budou mít dopad na vzhled interiéru i fasády budovy.

V interiéru jsou nejvýznamnějším vizuálně působícím prvkem mřížky účelových otvorů nebo prvků systémů nuceného větrání. Obvykle se požaduje, aby nepůsobily rušivě, přičemž je potřeba dodržet podmínky dobré distribuce vzduchu..

Při pohledu zvenku jsou patrné komíny, vývody pasivních odtahů, mřížky kryjící přívodní a odtahové otvory. Jejich umístěním i barevným řešením lze negativní dopad eliminovat.

## **6.6 Konstrukce**

Systém větrání má dopad na konstrukci budovy, jak z toho důvodu, že systém pro sebe vyžaduje určitý prostor, tak z hlediska realizovatelnosti.

Takové větrací systémy, jako jsou pasivní vertikální odtahy, kladou na budovu určitá omezení v důsledku požadavků na jejich návrh. Vertikální odtahy musejí být řešeny s omezeným počtem ohybů a umístění ukončovacích prvků může být kritické, stejně jako jsou zde poměrně velké požadavky na prostor. Další systémy, např. nucené větrání, jsou flexibilnější, pokud jde o návrh, ale vyžadují pečlivé plánování, aby nedocházelo k nadměrnému poklesu tlaku. Dokonce při řešení účelových otvorů je potřeba rozhodnout, zda budou instalovány do oken, nebo jako prostup stěnami.

Většina větracích systémů má určité nároky na prostor, ve kterém je systém umístěn, ale kromě toho musí být prostorově umožněna i instalace, údržba a případně výměna.

## 6.7 Spolehlivost

Spolehlivost v souvislosti s větráním bytových domů souvisí se schopností větracího systému zajistit minimální rychlost výměny vzduchu po celou dobu životnosti objektu a za různých vnějších podmínek.

Práce provedené v rámci přílohy 27 definují tři hlavní faktory, které ovlivňují spolehlivost větracího systému:

- vnější vlivy počasí
- hromadění prachu v rozvodech a ostatních prvcích
- závady na zařízeních, která tvoří větrací systém

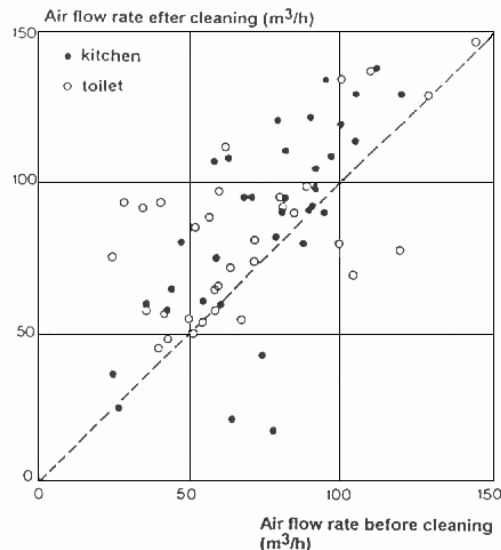
Mohl by zde být uveden i čtvrtý faktor, a to je interakce uživatelů se systémem.

### 6.7.1 Počasí

Podmínky dané počasím mají významný vliv na spolehlivost přirozených větracích systémů, protože jsou určující z hlediska působících hnacích sil. Větrací systémy s pasivním odtahem jsou navrženy tak, aby vylučovaly nejneprůzračnější prvky z tohoto působení, ale stále jsou jimi v určitém rozsahu ovlivněny. Pokud jsou bytové objekty dostatečně utěsněny, jsou systémy nuceného větrání vnějšími podmínkami ovlivněny poměrně málo.

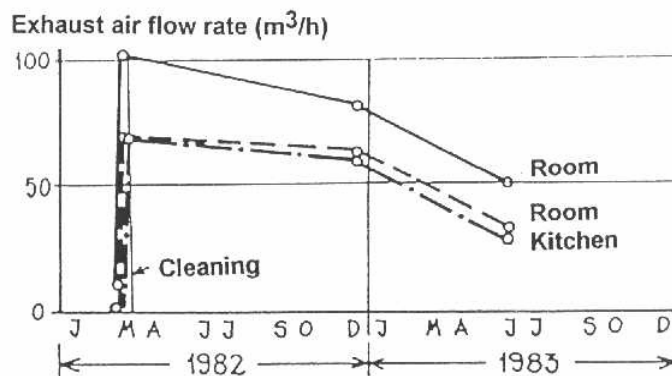
### 6.7.2 Hromadění prachu

Hromadění prachu a závady zařízení se obvykle objevují u systémů nuceného větrání. Měření účinnosti systémů v reálných podmínkách dokládá, že usazený prach může mít významný vliv na účinnost systému. Wallin [1978] uvedl, že čištění větracích systémů může zvýšit rychlost průtoku až o 25 %.



Obrázek 6.3: Porovnání rychlosti průtoku skrze koncové zařízení vývodu vzduchu v bytových domech, před provedením čištění a po něm

Další práce realizované na začátku 80. let dokládají, že rychlost průtoku vzduchu se může snížit zhruba o 50 % pouze jeden rok po provedeném čištění. Pro udržení účinnosti větracího systému je proto nutné provádět jeho čištění pravidelně každý rok.



Obrázek 6.4: Rychlost proudění vzduchu skrze výstupní (výdechový) koncový prvek před provedením čištění a po něm

### 6.7.3 Závady jednotlivých komponentů

Závady na komponentech větracích systémů se týkají především systémů nuceného větrání. Určitou pozornost je však třeba věnovat zjednodušené analýze systémů přirozeného větrání, jako jsou pasivní odtahy.

Tabulka 6.2: Předpokládaná životnost a náklady na údržbu jako procentní podíl nákladů na pořízení

Komponent	Životnost (roky)	Roční náklady na údržbu, % z investice
Ohřivače vzduchu, vodní	20	2
Ohřivače vzduchu, elektrické	15	2
Kontrolní zařízení	15	4
Chladicí kompresor	15	4
Uzavíratelná šoupátka	20	1
Uzavíratelná šoupátka s kontrolním motorem	15	4
Difuzéry	20	4
Systém rozvodů	30	1
Výdechové mřížky	20	4
Ventilátory	20	4
Ventilátory s proměnnou rychlostí	15	6
Filtr, čištěný	10	10
Filtr, výměna	1	10
Výměník tepla	15	4
Tepelné čerpadlo	15	4
Motor, elektrický	20	1
Trubky, měděné	30	1
Čerpadla, otevřený systém	15	2
Čerpadla, uzavřený systém	20	2
Ventily, ovládané manuálně	30	4
Ventily, ovládané automaticky	15	6
Ventily, odstavované manuálně	30	2
Ventily, odstavované automaticky	15	4
Elektro rozvody	30	1

Byla vypracována celá řada studií, které se zabývají závadami komponentů a jejich spolehlivostí, významné jsou IEA příloha 25 a práce realizovaná Svennerbergem [1994], i když neposkytuje žádné komplexní údaje. Pro stanovení pravděpodobné spolehlivosti je možné alternativně použít doporučené intervaly údržby. Většina „nejvhodnějších“ schémat intervalů doporučuje vizuální kontrolu komponentů každé 3 měsíce, čištění každých 6 měsíců, kontrolu poklesu tlaku ve filtrech každé 3 měsíce, na niž navazuje výměna/čištění, jakmile dojde ke kritickému poklesu tlaku.

Existují standardní metody analýzy závad systému, vzniklých v důsledku závad komponentů. Jsou to metody deduktivní (analýza pomocí stromu poruch, analýza pomocí stromu událostí) nebo induktivní (modely poruch a analýza důsledků). Deduktivní metody vycházejí ze zjištěné události a postupují

systemem směrem dolů, dokud není zjištěna příčina zjištěné události. Induktivní metody vycházejí z poruchy komponentu a pokračují vzhůru systemem, aby určily pravděpodobný koncový dopad na systém. Induktivní metody se častěji používají pro návrh komponentů, zatímco deduktivní metody se používají častěji ve velmi složitých systémech.

#### 6.7.4 Vliv lidského faktoru

Vliv lidského faktoru na účinnost větracích systémů probírají podrobněji jiné části tohoto dokumentu. Jestliže se zabýváme spolehlivostí systému, je třeba brát v úvahu možnost, že uživatel bude systém používat nevhodným způsobem, což povede k jeho špatné účinnosti. Pokud je to možné, systém větrání by měl být zvolen a navržen tak, aby bylo minimalizováno nebezpečí nevhodného používání.

### 6.8 Náklady za dobu životnosti

Náklady, týkající se budov, se obvykle vyjadřují pouze v úrovni pořizovacích nákladů. Protože bytové domy se obvykle staví nebo renovují za účelem jejich prodeje, neobjevuje se přitom významná motivace stanovovat náklady na provoz. V těch případech, kdy náklady na provoz hradí stejná organizace, která výstavbu investovala, se však už jeví jako důležité, brát v úvahu provozní náklady za dobu životnosti.

Analýza nákladů v průběhu životnosti je v podstatě shodná se zhodnocením investice. Pokud se jedná o systémy větrání v bytových domech, je třeba brát v úvahu počáteční investici do systému, náklady na výměnu komponentů v průběhu životnosti budovy, údržbu a provozní náklady.

Základnou pro náklady vynaložené během životnosti je koncepce diskontovaného peněžního toku (cash flow). Ta vychází z předpokladu, že pokud investujeme peníze dnes, předpokládáme, že se jejich hodnota za dobu trvání investice zvýší. Znamená to, že každé euro, které investujeme, bude mít po uplynutí období  $n$  roků hodnotu  $(1 + r)^n$  na konci investičního období, přičemž  $r$  je úroková sazba za celé investiční období. Naopak, můžeme stanovit, že euro po  $n$  letech bude mít v budoucnosti hodnotu  $1/(1 + r)^n$  dnešního eura. To je označováno jako čistá současná hodnota (Net Present Value/NPV) a je měřítkem hodnoty investice. Hodnota  $r$  je označována jako diskontní sazba, a obvykle se rovná u veřejných projektech převažující úrokové sazbě, ale v soukromém sektoru bývá vyšší.

Alternativní metodou hodnocení je počáteční míra návratnosti (Initial Rate of Return/IRR). Znamená to, že úroková sazba  $r$  sníží NPV na nulu.

Ve skutečnosti mají výpočty NPV určitá omezení.

**Možnost přidělení kapitálu** vyplývá z toho, že je k dispozici omezený zdroj kapitálu. Proto je třeba vybírat takové projekty, které je možné zafinancovat. Pro takovéto rozhodnutí se používá NPV. Alternativně je možné použít poměr přínosů a nákladů (Benefit Cost Ratio).

**Finanční riziko** při volbě jednotlivých systémů závisí na analýze nákladů proměnných složek. Pokud jde o systémy větrání, toto riziko souvisí nejpravděpodobněji s cenami energie.

**Alternativní příležitosti kapitálu** souvisejí se skutečností, že investování peněz do systému větrání omezuje ostatní potenciální oblasti investic. Přímé srovnání jednotlivých systémů větrání nepřináší výsledky. Analýzy, srovnávající alternativní investice, jsou velmi složité. Přednáška Gustafssona a Karlsona [1987] se tímto problémem zabývá do hloubky.

## 7 Uvádění do provozu

Aby bylo zajištěno, že systém pracuje tak, jak byl navržen, je nutné po dokončení instalace uvést systém do provozu.

Existují předpisy pro uvádění do provozu nucených systémů větrání, jako například CIBSE Commissioning Codes A, ale tlak na úsporu času a nákladů ztěžuje možnost jejich plné aplikace v bytových domech. Velmi často nejsou tyto předpisy určeny konkrétně pro bytové objekty, i když Švédsko zavedlo Boverket procedure (Obligatorisk Ventilations-Kontroll/OKV), která předkládá praktický přístup ke kontrole systémů zaměřený na jejich účinnost. Tato procedura byla publikována Švédskou národní radou pro bytovou výstavbu (Swedish National Board of Housing [1992]).

V současné době probíhá práce skupiny, která se zabývá účinností energie v budovách (Energy Performance of Buildings Group) v Berkeley Laboratories v USA (<http://commissioning.lbl.gov>), kde se vyvíjejí obecné postupy pro předávání systémů v bytových objektech, což zahrnuje konstrukci obvodového pláště, systémy větrání a topná zařízení. Dodnes tato práce zahrnuje prostudování dostupné literatury se zaměřením na identifikaci měřitelných indikátorů účinnosti, metod měření, matric a norem, s nimiž je možné naměřené hodnoty srovnávat.

Dále probíhají práce v Evropě, v rámci programu Joule „TIPVENT – Towards Improved Performance of mechanical VENTilation systems“ (Ke zdokonalení účinnosti systémů nuceného větrání), realizovaného pod Evropskou komisí. Tato práce se zaměřuje na návrhy na základě přístupu orientovaného na účinnost, uvádění do provozu a provozování větracích systémů. Předností tohoto přístupu je podpora inovací a zdokonalení účinnosti jednotlivých komponentů, což vede ke splnění požadavků na předávání do provozu a udržovatelnost.

Obě tyto práce vycházejí z toho, že cíle související s účinností je možné definovat ve třech úrovních: úrovni budovy, úrovni systému a úrovni komponentů. Úroveň funkčnosti budovy se zaměřuje na účinnost v rámci vnitřního prostředí nebo účinnost využití energie v celé budově. Ty jsou ovlivňovány systémem větrání, ale mají souvislost také s ostatními systémy v bytě. Účinnost systému a jeho komponentů lze mnohem snadněji použít jako součást procesu uvádění do provozu. Není však možné zvažovat pouze systém větrání nebo jeho komponenty samostatně, protože fungují v interakci s ostatními komponenty bytového objektu.

Přestože je možné u systémů větrání identifikovat a měřit ukazatele účinnosti, byla vytipována celá řada oblastí, kam je potřeba nasměrovat další výzkum, aby bylo možné aplikovat postupy vhodné pro oblast trhu s byty. Mezi ně patří zjišťování úniku z kanálků a rozvodů, měření efektivnosti/účinnosti systému větrání, metody měření IAQ, měření rychlosti vzduchu a testování zpětného tahu.

### 7.1 Obvodový plášť budovy

Aby mohl zvolený systém větrání fungovat účinně a z hlediska spotřeby energie efektivně, musí být obvodový plášť budovy navržen tak, aby vykazoval odpovídající úroveň vzduchotěsnosti. Budovy, v nichž se využívá přirozené větrání, nemusejí být tak vzduchotěsné jako budovy, které využívají nucené odvětrání. Pro všechny systémy větrání je však nutné dosahovat minimální praktické vzduchotěsnosti.

Pro stanovení vzduchotěsnosti obvodového pláště lze použít celou řadu parametrů. Mezi ně patří rychlost průtoku vzduchu při různém tlaku (ACH50, CFM50), plochy, v nichž dochází k prosakování vzduchu, a typ bariér proti prosakování vzduchu.

Mezi nejpoužívanější techniky, které slouží ke stanovení vzduchotěsnosti budovy, patří tlakový test průchodu dveřmi a testy detekce průchodu plynu. Ostatní používané techniky kombinují tlakový test s infračerveným zobrazením a s testy na vnímání průvanu. Naměřené hodnoty se porovnávají s platnými normami a sbírkami zásad.

## 7.2 Systémy rozvodu vzduchu

Systém rozvodu vzduchu může být testován jak s ohledem na účinnost vytápění, tak na účinnost větrání. Některé parametry je možné používat jak pro účinnost větrání, tak pro účinnost vytápění, některé parametry jsou vždy pro každý ze systémů jedinečné.

Parametry tepelné účinnosti zahrnují efektivnost a účinnost dodávky tepla, efektivnost a účinnost rekuperace tepla nebo účinnost úniku při průchodu rozvody. Parametry účinnosti větrání zahrnují průtok vzduchu nebo efektivnost a účinnost větrání.

Pro stanovení výše uvedených parametrů účinnosti se využívá celá řada diagnostických technik. Měření toku vzduchu se provádí pomocí měření pilotní trubici (pilot-tube), technik sledování průchodu plynu, měřením statického tlaku v zadaných bodech a použitím kalibrovaných ventilátorů. Tok vzduchu v místnosti je možné stanovit pomocí průtokoměrů (flow hoods), anemometrů nebo dokonce časově nastaveným odběrem z bodů, v nichž je zajištěn přívod vzduchu pro větrání. Testy na únik vzduchu z rozvodných kanálků je možné provádět pomocí tlakových testů, i když je to u bytových domů obtížné.

Normy pro systémy rozvodů jsou uvedeny ve sbírkách zásad a v normách, jako je například ASHRAE. Normy stanovují rovněž rychlost výměny vzduchu.

Jestliže je systém větrání navržen tak, aby zároveň poskytoval vytápění a/nebo chlazení bytů, potom musí být jako součást uvedení do provozu testováno i další zařízení. Topné zařízení se obvykle hodnotí s ohledem na jeho kapacitu a účinnost. Pro stanovení kapacity v ustáleném stavu je možné používat jednoduché testy, jako je „časování“ plynoměru, zatímco měření teploty a kyslíčnicku uhličitého se používají pro hodnocení efektivnosti hořáků. Normativní hodnoty pro tato měření jsou uvedeny v normách a sbírkách zásad. Podobně účinnost chladicích systémů se měří podle kapacity a efektivnosti. Další charakteristikou systémů chlazení je doplňování chladicího média. Většina z popsanych diagnostických technik je založena na laboratorních testech, které mohou být příliš složité a příliš časově náročné, než aby je bylo možné používat při uvádění do provozu. Údaje týkající se kapacity a účinnosti systémů jsou uvedeny v normách a stavebních řádech, ale vhodné normy pro doplňování chladicího média nejsou k dispozici.

## 7.3 Zpětný tah

V souvislosti s větráním je třeba brát v úvahu také topidla, protože je nutné zajistit odpovídající větrání, které umožní jejich správný a účinný provoz, a zajistit také, že v důsledku vzájemné interakce mezi systémem odvětrávání topidel a systémem větrání domu nebude vznikat zpětný tah.

Hodnocení nebezpečí vzniku zpětného tahu je řešeno v ASTM, „Guide For Assessing Depressurisation-Induced Back-draughting and Spillage From Vented Combustion Appliances“ (Návod pro hodnocení zpětného tahu vznikajícího v důsledku podtlaku, který může vznikat u odvětrávaných topidel), 1998, Philadelphia, PA; American Society for Testing and Materials (Americká společnost pro testování a materiály) a CGSB, „CAN/CGSB-51.71-95, Method To Determine The Potential For Pressure-Induced Spillage From Vented, Fuel-Fired, Space Heating Appliances, Water Heaters and Fireplaces“ (Metoda pro stanovení potenciální možnosti úniku zplodin hoření z topidel u odvětrávaných topidel, ohřivačů vody a krbů), 1995, National Standard of Canada, Ottawa, CA; Canadian General Standards Board.

Mezi parametry, používané pro stanovení rizika zpětného tahu, patří podtlak v bytě, rozdíl tlaků vytvářený systémem větrání nebo maximálním rozdílem mezi vnitřním a vnějším tlakem, při kterém dochází k běžnému odtahů plyných zplodin hoření.

Podtlak v domě je možné vyhodnotit měřením rozdílu mezi vnitřním a vnějším tlakem, který vzniká v důsledku kombinace systému větrání a systému spalování. Pokud topidla nejsou v provozu, je možné použít tentýž test pro stanovení spodního tahu. Všechny testy určené pro stanovení zpětného tahu se implementují velmi obtížně, protože jsou vždy ovlivňovány větrem a dalšími přírodními hnacími silami. Proto je třeba zaměřit se na další výzkumné práce, které by vedly k vypracování testů, vhodných pro obytné budovy.

Normativní hodnoty jsou uvedeny v CGSB [1995] a ASTM [1998].

## 7.4 Kontroly

K dispozici je jenom velmi malý počet doložených informací o předávání kontrolních prvků používaných v bytových objektech. Obecné předpisy pro předávání systémů v nebytových objektech uvádějí sice příslušné metodiky, ale ty mohou být příliš drahé, než aby se v plném rozsahu používaly.

CIBSE Commissioning Code A (Předpis pro uvádění do provozu A) „Systémy rozvodu vzduchu“ uvádí, že dříve, než je možné uvést do provozu kontrolní systém, musí být zkontrolována budova a systém rozvodu vzduchu. Je nutné zajistit, aby byla budova natolik dokončena, aby se daly provést tlakové zkoušky, aby byl vyzkoušen systém rozvodu vzduchu na těsnost a aby bylo prověřeno, že systém rozvodu vzduchu je čistý a že byly zkontrolovány systémy elektrorozvodů.

CIBSE Guide H (Příručka H) „Systémy kontroly v budovách“ rozděluje předávání kontrolních prvků do provozu na dvě hlavní části: prověření práce kontrolních systémů a nastavení parametrů a přepínačů na příslušné hodnoty. Příslušné nastavení kontrolních prvků lze najít v projektu, ve směrnících, které se týkají životního prostředí, a ve směrnících vycházejících z dobré praxe. Ty se mohou ovšem lišit v závislosti na lokalitě.

## 7.5 Problémy s vnitřním prostředím

Vnitřní prostředí bude samozřejmě významně ovlivněno systémem větrání. Jak bylo uvedeno výše, je možné použít měřítka, jako je IAQ a tepelná pohoda, které umožňují popsat celkový provoz v bytě.

**IAQ** je možné stanovit na základě takových parametrů, jako je úroveň znečišťujících prvků nebo indexy (pmm) relativní v čase, vlhkost nebo parciální tlak vodních par, popř. vznik znečišťujících látek a jejich odstraňování. Pro celou řadu znečišťujících látek však není měření snadné a kromě toho hladina znečištění závisí na činnosti, kterou obyvatelé vykonávají. To znamená, že měření provedená jako součást procesu předávání do provozu, který probíhá předtím, než obyvatelé začnou byt používat, nemá žádnou hodnotu.

**Tepelnou pohodu** je možno stanovit na základě takových parametrů, jako je teplota vzduchu, střední radiační teplota, rychlost proudění vzduchu a relativní vlhkost. Takováto měření jsou poměrně jednoduchá, ale chování obyvatel a jejich vnímání může mít na PMV významný vliv, a proto takováto analýza neodpovídá uvádění do provozu prováděnému před přítomností obyvatel.

Jak IAQ, tak tepelná pohoda se mnohem snadněji hodnotí v době, kdy jsou byty již užívány svými obyvateli.

Normativní hodnoty pro IAQ jsou uvedeny v normách a jsou dány legislativně, viz kapitola 4.

### **Audity vnitřního prostředí**

Audity vnitřního prostředí v bytech může vyžadovat buď místní legislativa, nebo klienti. Některé z požadavků těchto auditů mohou být využity jako směrnice pro kvalitu instalace systémů.

Systémy, jako je cena Eco Homes ve Velké Británii, poskytují poklad pro výpočet emisí CO<sub>2</sub>. Tyto emise se stanoví ze vztahu k celkové spotřebě energie, jejíž výpočet vychází ze vzduchotěsnosti bytového objektu a z návrhu systému větrání.

