



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

HYBRIDNÍ VĚTRÁNÍ V BUDOVAČH

HYBRID VENTILATION IN BUILDINGS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN HAVLÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL CHARVÁT, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Havlíček

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

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

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

Hybridní větrání v budovách

v anglickém jazyce:

Hybrid ventilation in buildings

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Větrání je nezbytnou součástí zajištění zdravého prostředí uvnitř budov, ale současně se výraznou měrou podílí na energetické náročnosti provozu budov. V praxi se používá řada přístupů jak větráním zajistit požadovanou kvalitu vzduchu ve vnitřním prostředí, při současné minimalizaci spotřeby energie. Jedním z těchto přístupů je použití hybridního větrání, které kombinuje výhody přirozeného a nuceného větrání.

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je provést rešerši různých způsobů hybridního větrání v budovách.

Seznam odborné literatury:

Székyová, M., Ferstl, K., Nový, R., Větrání a klimatizace. JAGA GROUP, s.r.o. Bratislava 2006.

Články v časopisech a sbornících konferencí zabývají se problematikou hybridního větrání budov.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Charvát, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 1.11.2010

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá hybridním větráním v budovách. První část práce je věnována větrání, jeho rozdělení a popisu přirozeného a nuceného větrání. Hybridnímu větrání v budovách se věnuje druhá část práce. Je zde uvedeno rozdělení hybridního větrání, 2 ukázky hybridního větrání v nebytovém sektoru a 4 typy hybridních větracích systémů pro 4 teplotní pásma.

Abstract

This bachelor thesis deals with hybrid ventilation in buildings. The first part of the thesis discusses ventilation, the classification of ventilation and then natural and mechanical ventilation are summarized. The second part focuses on hybrid ventilation. Here the classification of hybrid ventilation, 2 examples of hybrid ventilation in non-residential premises and 4 hybrid ventilation systems for 4 climate zones are mentioned.

Klíčová slova

Hybridní větrání, přirozené větrání, nucené větrání

Keywords

Hybrid ventilation, natural ventilation, mechanical ventilation

Bibliografická citace

HAVLÍČEK, J. *Hybridní větrání v budovách*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 32 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Charvát, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci Hybridní větrání v budovách vypracoval samostatně pod vedením Ing. Pavla Charváta, Ph.D. a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární zdroje a prameny.

V Brně dne 27.5.2011

Jan Havlíček

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Pavlovi Charvátovi, Ph.D. za odborné vedení, podnětné připomínky a cenné rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce.

Obsah

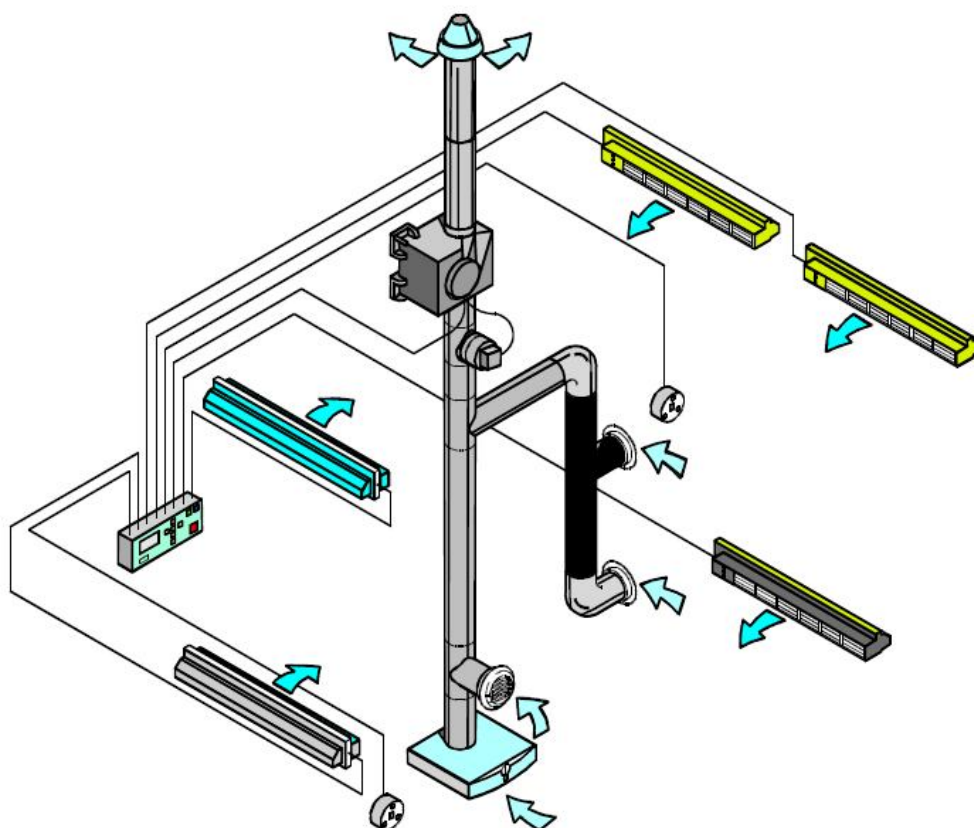
Obsah	10
Úvod	11
1 Větrání	12
1.1 Rozdělení větrání	12
1.2 Přirozené větrání	13
1.3 Nucené větrání	15
2 Hybridní větrání	17
2.1 Rozdělení hybridního větrání	18
2.2 Annex 35 HybVent	19
2.2.1 The Liberty Tower, Meiji, Japonsko	19
2.2.2 The Grong school, Norsko	20
2.3 Projekt RESHYVENT	21
2.3.1 Systém pro studené klima	22
2.3.2 Systém pro mírné klima	22
2.3.3 Systém pro teplé klima	25
2.3.4 Systém pro drsné klima	26
Diskuze	28
Závěr	29
Seznam použitých zdrojů	30
Seznam použitých zkratk	32
Seznam použitých veličin	32

Úvod

Bez čerstvého vzduchu se neobejde žádný živočich, a to ani člověk. Prostředí, ve kterém se člověk nachází, výrazně ovlivňuje jeho okamžitý pocit, ale i zdravotní stav. Proto by člověk v každém prostředí měl dbát na to, aby mu nebylo příliš teplo či chladno, neměl pocit žízně nebo dusna a nezdržoval se v průvanu. Dalším důležitým faktorem pro lidský organismus je čistota vzduchu. Čistý vzduch má značný vliv na pohodu člověka a ovlivňuje kvalitu jeho pracovní činnosti. Vzduch je nejčastěji znečišťován pobytem a činností lidí, činností přírody a výrobní činností. Samotný člověk znečišťuje vzduch pouhým výskytem v místnosti, jelikož produkuje teplo, vodní páru, oxid uhličitý a další škodliviny. Protože člověk většinu svého času tráví v budovách, je nutné zajistit požadovanou kvalitu vnitřního vzduchu a tepelnou pohodu prostředí. Větrání je jednou z možností, jak takového komfortu dosáhnout.

V současné době je převažující systém větrání v budovách buď přirozený, nebo nucený. Přirozené větrání patří mezi nejčastěji používaný způsob větrání. Hlavní výhodou přirozeného větrání je, že pro pohyb vzduchu není nutná elektrická energie. Naopak nevýhodou je nemožnost regulace výměny vzduchu a zařadit do větracího systému vzduchové filtry a čističe vzduchu. U nuceného větrání dochází k pohybu vzduchu pomocí ventilátoru, pro jehož pohon je nutná elektrická energie. Neustále zvyšující se náklady na energii nás nutí k tomu, aby se s ní šetřilo. Ke snížení nákladů spojených s větráním může pomoci hybridní větrání.

Hlavní rozdíl mezi konvekčními větracími systémy a hybridními systémy větrání je skutečnost, že tyto systémy jsou inteligentní systémy s řídicím systémem, který automaticky může přepínat mezi přirozeným a nuceným režimem větrání s cílem minimalizovat spotřebu energie při zachování přijatelné kvality vnitřního prostředí a tepelné pohody. Hybridní systém větrání lze využít v nových i stávajících budovách, v bytovém i nebytovém sektoru.



1 Větrání

Hlavním úkolem větrání je zabezpečit výměnu vzduchu v prostoru, to znamená zajistit jeho proudění. Vyměnit vzduch v místnosti neboli vyvětrat místnost je potřeba z několika důvodů. Mezi nejčastější případy patří příliš vysoká teplota nebo vlhkost vzduchu. Dalším důvodem větrání je zabezpečit odvod škodlivin z daného prostoru a vytvořit požadovaný stav ovzduší. Mezi škodliviny dále patří:

- Prach – vzniká rozkladem a rozpadem anorganických i organických látek. Dále může vznikat průmyslovou a výrobní činností člověka.
- Zápachy (odéry) – jedná se o anorganické nebo organické látky produkované člověkem nebo jeho činností, případně o látky uvolňované ze stavebních konstrukcí.
- Oxid uhličitý – je plyn, který vzniká při dýchání přeměnou kyslíku. Při překročení přípustné koncentrace může způsobovat malátnost, ospalost a bolesti hlavy.
- Hluk – je zvuk, který nepříznivě ovlivňuje pohodu člověka. Pokud překračuje určité hodnoty, je škodlivý a snižuje pracovní výkon člověka. [1], [2]

Abychom zajistili účinné větrání, musí být vhodně umístěny přírodní a odvodní otvory. Pokud možno vždy na protilehlých stěnách. Přiváděný vzduch by měl nejdříve vstupovat do obytných místností a ložnic a z nich poté do kuchyně a sociálních zařízení. Rychlost proudění vzduchu musí být vždy taková, aby nedošlo k víření prachu nebo ke vzniku průvanu. [1]

Průtok odváděného vzduchu je množství vzduchu, které se má ve větrané místnosti vyměnit za jednu hodinu. Intenzita výměny vzduchu vyjadřuje, kolikrát za hodinu se má vyměnit všechen vzduch ve větrané místnosti. Doporučené dávky množství venkovního vzduchu na osobu pro pobyt v obytných místnostech: [1]

- Interiér se zákazem kouření 30 m³/hod, u velkých shromažďovacích prostorů je dávka snížena na 20 m³/hod
- Interiér s povoleným kouřením 60 m³/hod, u velkých shromažďovacích prostorů je dávka snížena na 40 m³/hod

Tab. 1 – přehled místností a množství vyměňované vzduchu [1]

Místo	Průtok vzduchu [m ³ /hod]	Intenzita výměny [1/hod]
kuchyň	150 100 až 120	3 – plynový sporák 3 – elektrický sporák
obytná místnost, ložnice	3 na 1 m ² podlahy	minimálně 0,5
koupelna	60 až 150	3 až 5
WC	25 až 50	3 až 5

1.1 Rozdělení větrání

Podle toho, zda hnací silou pro pohyb vzduchu jsou síly přírodní nebo pohyb vzduchu je řízen mechanicky, dělíme větrání na:

- **Přírozené větrání** – pohyb vzduchu přírodními silami
- **Nucené větrání** – pohyb vzduchu pomocí ventilátoru
- **Hybridní větrání** – kombinuje výhody přírodního a nuceného větrání

Z hlediska objemových průtoků přiváděného a odváděného vzduchu:

- **Rovnotlaké** – tlak ve větraném prostoru je stejný jako tlak v okolním prostředí
- **Přetlakové** – tlak vzduchu ve větraném prostoru je vyšší než tlak vzduchu v okolním prostředí

- **Podtlakové** – tlak vzduchu ve větraném prostoru je nižší než tlak vzduchu v okolním prostředí

Z hlediska časového průběhu:

- **Větrání občasné** – výměna vzduchu probíhá v časově opakujících se intervalech
- **Větrání trvalé** – výměna vzduchu probíhá spojitě v čase

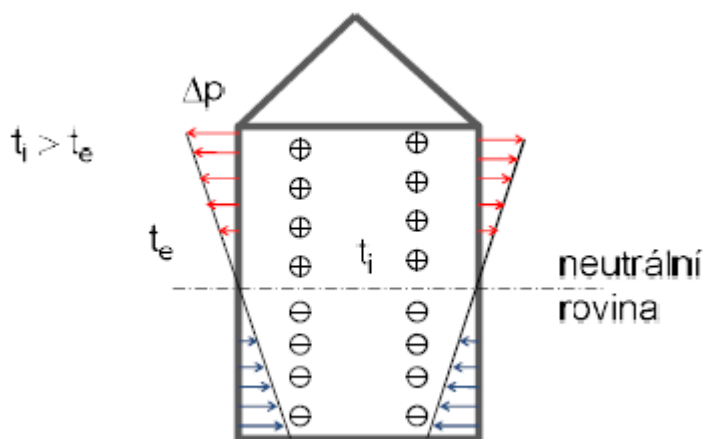
Z hlediska prostoru, kde je vzduch vyměňován:

- **Místní větrání** – vzduch se odvádí nebo přivádí v daném prostoru. Tento druh větrání odvádí vzduch pouze z určitého omezeného místa, v němž vzniká teplo, pára, zápach nebo jiná škodlivina. Patří zde odsávání, vzduchové clony a vzduchové sprchy. [1]
- **Celkové větrání** – zajišťuje rovnoměrnou výměnu vzduchu v celé místnosti nebo prostoru. Současně zabraňuje navýšení koncentrací škodlivin nad maximální přípustnou hodnotu. Hlavně se používá v obytných, průmyslových a montážních prostorách. Toto větrání slouží převážně k odvodu škodlivin, ale současně může sloužit k vytápění nebo klimatizaci větraných prostor. [1]

1.2 Přirozené větrání

Pohyb a výměna vzduchu je vyvolávána přirozenými silami. Jedná se o gravitační (vztlakovou) sílu a kinetickou energii větru. Obě tyto síly se projevují ve všech typech budov za běžných provozních podmínek. [2]

- *Přirozené větrání vyvolané gravitační silou* - K proudění vzduchu dochází na základě rozdílných hustot vzduchu ve větrané místnosti a v sousední místnosti nebo venkovním prostředí. Teplý vzduch, který má menší hmotnost než vzduch chladnější, má vlivem vztlakové síly tendenci stoupat vzhůru, oproti tomu chladnější vzduch klesá dolů. Pokud je teplota uvnitř budovy vyšší než venkovní teplota, je v dolní části budovy nižší tlak než vně budovy a v horní části naopak. [1], [3]



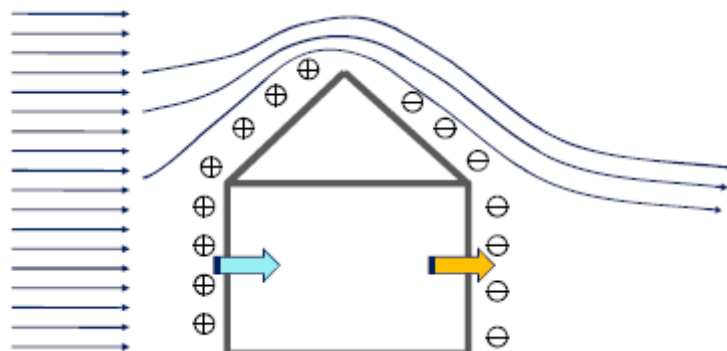
Obr. 1 – rozdělení tlaků vyvolaných gravitací [4]

Neutrální rovina je místo mezi oběma oblastmi, kde je nulový tlakový rozdíl. Tlakový rozdíl Δp v libovolném místě h od neutrální roviny je dán vztahem:

$$\Delta p = h(\rho_e - \rho_i)g \text{ [Pa]} \quad (1.2.1)$$

kde g je tíhové zrychlení [m/s^2]

- *Přirozené větrání vyvolané účinkem větru* - Na proudění má dále značný vliv účinek větru. Vlivem účinku větru se na návětrné straně vytváří přetlak a na závětrné podtlak. Tento rozdíl je využit pro větrání. Čím více je budova vystavena účinku větru, tím více dochází k proudění vzduchu v jednotlivých místnostech. [1]



Obr. 2 – rozložení tlaku na povrchu budovy při účinku větru [3]

Vztah pro vyjádření velikosti přetlaku, respektive podtlaku:

$$\Delta p = \frac{1}{2} A w^2 \rho \text{ [Pa]} \quad (1.2.2)$$

kde A je aerodynamický součinitel, vyjadřující míru přeměny pohybové energie v tlakovou. Průměrné hodnoty součinitele na návětrné straně jsou 0,9 a na straně závětrné -0,4. [5]

Z principů, na nichž se přirozené větrání zakládá, představuje nejehospodárnější systém větrání, jelikož není zapotřebí elektrická energie, investiční a provozní náklady jsou relativně nízké. [2]

Hlavní uplatnění přirozeného větrání je v provozech s přebytkem tepla. Kde je přirozené větrání velmi účinné a je upřednostňováno před větráním nuceným. Kromě těchto provozů se dále přirozené větrání využívá ve vedlejších prostorech bez zdrojů škodlivin a bez požadavků na dané parametry prostředí po celý rok. [2]

Hlavní způsoby přirozeného větrání:

- *Infiltrace* – jedná se o pronikání vzduchu do budovy v důsledku tlakového rozdílu vyvolaného gravitační silou a působením větru. Vzduch proudí do budovy spárami netěsných oken a dveří a pórovitými stěnami. Vzduch, který se infilrací dostává do budovy nelze nijak upravovat a může negativně ovlivňovat kvalitu vnitřního prostředí a tepelnou pohodu. Infiltrace venkovního vzduchu je obecně považována za nežádoucí, jelikož zvyšuje energetickou náročnost budovy. [2],[3]
- *Větrání okny (provětrávání)* – je nejrozšířenější způsob přirozeného větrání budov. Jedná se o větrání otevíráním oken. Je specifické tím, že jediný otvor, zde okno, slouží pro přívod i odvod vzduchu. Je-li okno jediným větracím otvorem, je proudění vzduchu vyvolané rozdílem hustot vzduchu. Provětrávání se používá přerušovaně. Energeticky výhodné je tehdy, pokud provětráváme krátce, často a velkými průřezy. [2],[4]

- *Aerace* – je druh přirozeného větrání regulovatelnými větracími otvory ve stěnách a ve střeše. Vhodné použití pro aeraci je v průmyslových halách zejména s teplým provozem, když otvorem v její dolní části přivádíme vnější vzduch a odvod vzduchu je prováděn v horní části střešním světlíkem. Aerace není vhodná, pokud škodlivinu představují plyny a páry s větší hustotou, než má vzduch. [2]
- *Šachtové větrání* – šachtou se provádí celková přirozená výměna vzduchu v místnosti. Místnost je opatřena větracím otvorem, který je zaústěn do svislé šachty, kterou se vzduch odvádí obvykle nad střechem budovy. Z gravitačního principu vyplývá, že když je venkovní vzduch teplejší než vnitřní, dojde k obrácení směru proudění. Chladný vzduch začne šachtou klesat do budovy a nedojde k odvodu vnitřního vzduchu. Šachtové větrání může využívat účinku větru za použití výfukové hlavice (aerodynamické vlastnosti zvyšují účinný tah šachty), která se osazuje na horním zakončení větracího průduchu. Díky této vlastnosti může šachtové větrání fungovat i za negativního rozdílu tlaků. Hlavní důvod použití šachtového větrání je jeho jednoduchost a provoz bez spotřeby elektrické energie. [2]

1.3 Nucené větrání

Nucené větrání se liší od přirozeného větrání tím, že pohyb vzduchu je zajištěn pomocí ventilátoru, který je poháněn elektromotorem. Z tohoto důvodu je nucené větrání vždy spojeno se spotřebou energie. Pomocí ventilátoru můžeme regulovat intenzitu větrání dle potřeby. [2]

Tlak vyvolaný ventilátorem stačí k překonání hydraulických odporů ve větracím systému. Proto můžeme do soustavy zařadit zařízení sloužící k úpravě vzduchu a zajistit tím požadovanou kvalitu vnitřního prostředí. [2]

Podle poměru objemových průtoků nuceně odváděného a přiváděného vzduchu můžeme nucené větrání rozdělit na: [3]

- Rovnotlaké $\varepsilon = 1$
- Přetlakové $\varepsilon > 1$
- Podtlakové $\varepsilon < 1$

Kde ε je součinitel větrací rovnováhy.

$$\varepsilon = \frac{\dot{V}_p}{\dot{V}_o} [-] \quad (1.3.1)$$

\dot{V}_p [m³/s] - objemový tok přiváděného vzduchu

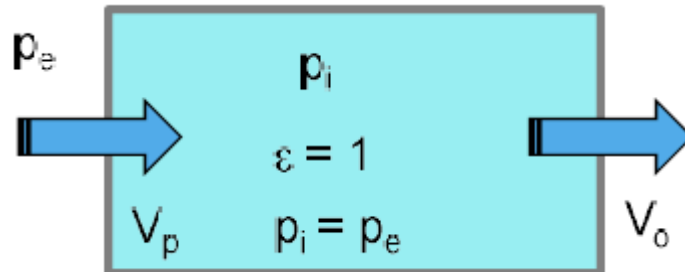
\dot{V}_o [m³/s] - objemový tok odváděného vzduchu

Druhy nuceného větrání

- *Větrání s nuceným přívodem vzduchu* – ventilátorem se do prostoru přivádí vzduch z venku. Vzduch je poté odváděn k tomu určenými otvory nebo netěsnostmi v obvodových konstrukcích. Tento typ nuceného větrání se v budovách používá málo.
- *Větrání s nuceným odvodem vzduchu* – vzduch se z větraného prostoru odvádí ventilátorem. Vzduch je do prostoru přiváděn k tomu určenými přiváděcími otvory nebo netěsnostmi v obvodových konstrukcích. Tento způsob je často využíván v bytových domech.

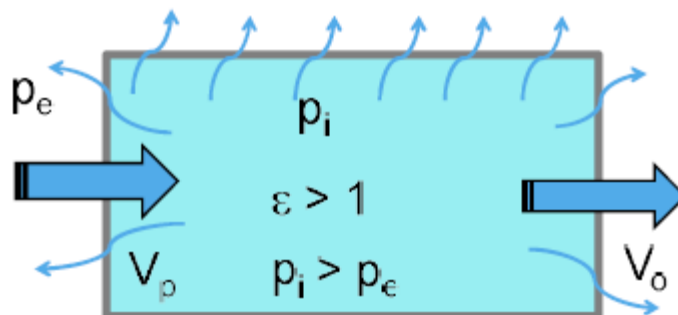
- *Větrání s nuceným odvodem i přívodem vzduchu* – jedná se o nejběžnější typ nuceného větrání, které se dále dělí podle poměru odváděného a přiváděného vzduchu:

- *Rovnotlaké větrání* ($\varepsilon = 1$) – objemový průtok přiváděného vzduchu do prostoru je v rovnováze s odváděným vzduchem. Tohoto typu využíváme k větrání obytných a kancelářských budov a dalších prostor bez zvláštních požadavků na šíření škodlivin z/do větraného prostoru. [3]



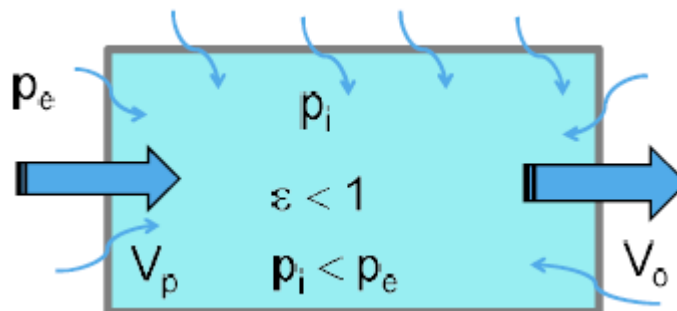
Obr. 3 – rovnotlaké větrání [3]

- *Přetlakové větrání* ($\varepsilon > 1$) – do větrané místnosti přivádíme více vzduchu, než odvádíme. V místnosti je vytvořen mírný přetlak oproti okolním prostorům. Takové větrání je vhodné v případě, že chceme zabránit pronikání okolního znečištěného vzduchu do větraného prostoru (čisté prostory, operační sály). [4]



Obr. 4 – přetlakové větrání [3]

- *Podtlakové větrání* ($\varepsilon < 1$) – v případě, že navržené větrací zařízení odvádí z místnosti větší množství vzduchu, než je do místnosti přiváděno, ve větraném prostoru se vytvoří podtlak. Podtlakové větrání se využívá tam, kde se snažíme zabránit pronikání škodlivin z větraného prostoru do okolního prostředí (kuchyně, svařovny, lakovny). [3]



Obr. 5 – podtlakové větrání [3]

2 Hybridní větrání

Výměna starých oken za nová a zateplení vnějšího pláště budov je trendem posledních let. Díky podstatně nižšímu součiniteli spárové provzdušnosti mají nová okna lepší tepelně technické vlastnosti. Tyto vlastnosti výrazně snížily infiltraci vzduchu a tím i tepelnou ztrátu budovy. Snížená výměna vzduchu vyvolává některé problémy v tepelně vlhkostním vnitřním mikroklimatu. Dříve byly požadavky na přirozené větrání bez problému splněny. Nyní představuje snížení přirozené výměny vzduchu pod hygienicky vyhovující úroveň problém, stoupá relativní vlhkost a zvyšuje se možnost výskytu plísní s nepříznivými dopady na lidské zdraví. [5]

V ČR se zatím bytovému větrání nevěnuje dostatečná pozornost. Přitom větrání se velice významnou mírou podílí na spotřebě energie a na kvalitě vnitřního prostředí budovy. Zdokonalení nuceného nebo přirozeného systému větrání, ušetření energie a zajištění požadované vnitřní kvality vzduchu, naráží na své hranice. Snahou hybridního systému větrání je minimalizace spotřeby elektrické energie při zachování tepelné pohody (vylepšení účinnosti ventilátoru a použití vzduchovodů s malou tlakovou ztrátou). [5], [6]

Odborníci předpokládají, že nevhodnější systémy větrání budou založeny na kontrolovaných hybridních větracích technologiích. [6]

Hybridní větrací systém můžeme popsat jako systém poskytující komfortní vnitřní prostředí používající odlišné vlastnosti přirozeného a nuceného větrání v různých částech dne nebo ročního období. Jedná se o ventilační systém, kde jsou kombinovány mechanické a přirozené síly do dvou režimového systému. Hlavním rozdílem mezi běžným větracím systémem a hybridním systémem je skutečnost, že hybridní systém je řízený systém s kontrolními prvky, které automaticky umí přepnout mezi přirozeným a nuceným režimem za účelem minimalizovat spotřebu energie a zachovat uspokojivé vnitřní prostředí. [6]



Obr. 6 – Schematický obrázek dvou režimového hybridního větrání [6]

Dvou-režimový systém využívá přirozené a nucené hnací síly. Hnací silou u přirozeného větrání je vítr a vztlak, nucenou hnací sílu zajišťují ventilátory. [6]

Základní filozofií je udržovat uspokojivé vnitřní prostředí střídáním a kombinováním těchto dvou režimů. To vede k řízení, které se snaží udržet přesně požadované průtoky vzduchu. Hnací síly musí být minimalizovány, protože cílem je spotřebovat co nejméně elektrické energie. [6]

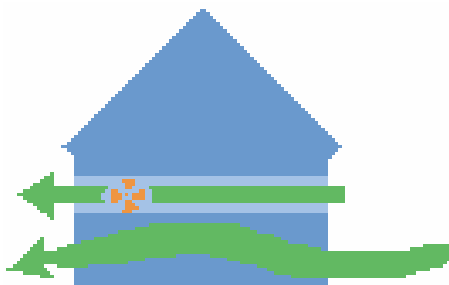
Hlavní rozdíl mezi běžným a hybridním systémem větrání je, že hybridní systém je systém inteligentní, který se automaticky přepíná mezi přirozeným a nuceným režimem. To vyžaduje zcela nový pohled na dimenzování a ovládání tohoto

systemu větrání. Kontrolní algoritmus pro hybridní větrání je stále důležitým aspektem tohoto typu větrání, důležitou otázkou je kdy, proč a jak přepnout z nuceného na přirozený režim a naopak. [6]

2.1 Rozdělení hybridního větrání

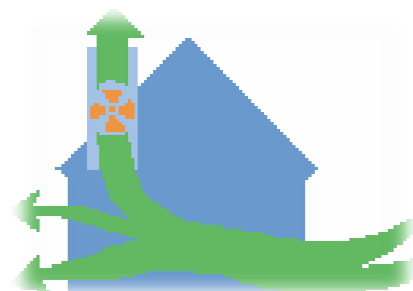
Hybridní větrání můžeme rozdělit do tří základních skupin:

- *Střídavé nebo současné použití přirozeného a nuceného větrání* – tento systém je založen na dvou větracích systémech, kde řídicí systém přepíná mezi jednotlivými systémy nebo je vzájemně kombinuje [7]



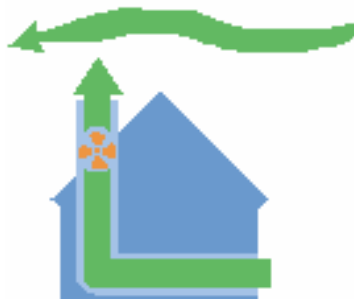
Obr. 7 – Střídavé nebo současné použití přirozeného a nuceného větrání [7]

- *Přirozené větrání asistované ventilátorem* – Tento druh hybridního větrání je založen na systému přirozeného větrání, kombinovaného s ventilátorem pro přívod a odvod vzduchu. Do činnosti se ventilátor zapojuje v případě nepříznivých podmínek pro přirozené větrání [7]



Obr. 8 – přirozené větrání asistované ventilátorem [7]

- *Nucené větrání podpořené šachtovým efektem a účinkem větru* – Tento druh je založen na systému nuceného větrání, který optimálně využívá rozdílů teplot a účinku větru pro výměnu vzduchu uvnitř budovy. Tento systém nuceného větrání vyžaduje velmi malé tlakové ztráty [7]



Obr. 9 – Nucené větrání podpořené šachtovým efektem a účinkem větru [7]

2.2 Annex 35 HybVent

Byl mezinárodní výzkumný projekt, který probíhal mezi lety 1998-2002. Projektu se zúčastnilo asi 30 výzkumných institucí, univerzity a soukromé společnosti z 15 zemí celého světa. Cílem projektu bylo vyvinout kontrolní strategii pro hybridní systémy větrání pro novostavby a rekonstrukce kancelářských a vzdělávacích budov. [8]

Pro ilustraci jsou v práci uvedeny dvě demonstrační budovy projektu HybVent.

2.2.1 The Liberty Tower, Meiji, Japonsko

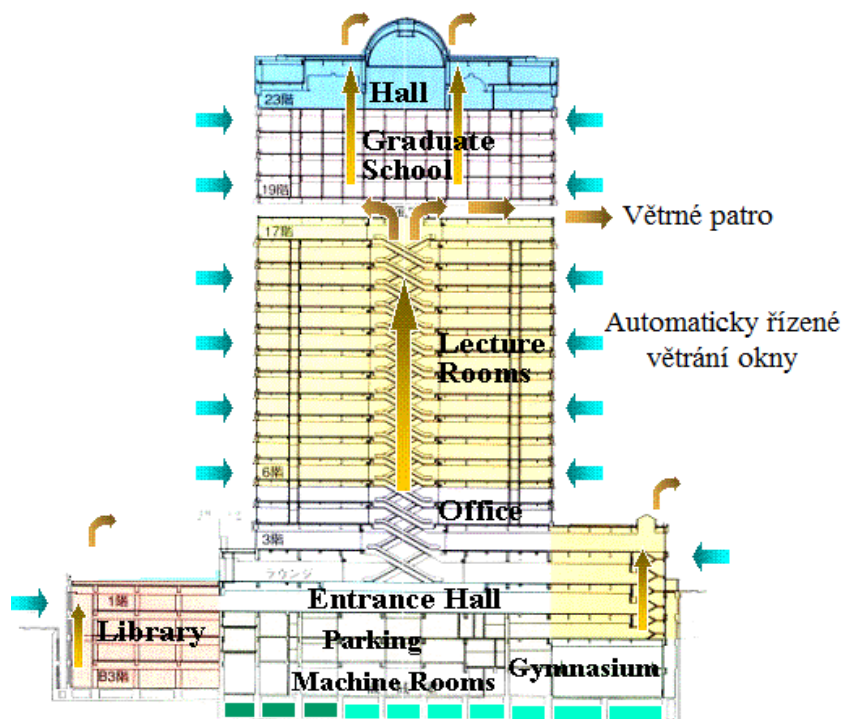
The Liberty Tower of Meiji University je 23patrová vzdělávací výšková budova, nacházející se v centru Tokia. Budova byla dostavěna v roce 1998.

Princip zajištění kvality vnitřního vzduchu a tepelné pohody

Přirozený systém větrání využívá automaticky ovládané větrání okny. Okna jsou otevřena, když venkovní vzduch je dostatečně teplotně vyhovující. Zlepšená kvalita vnitřního vzduchu je dána velkým množstvím čerstvého venkovního vzduchu získaného přirozeným větráním. Pokud přirozené větrání není dostačující, je vzduch dodáván nuceným systémem větrání. [8]

Princip hybridního větrání

Hybridní systém větrání je založen na koncepci tzv. větrného patra, které se nachází v 18. patře budovy. Centrální jádro budovy je navrženo jako šachta s komínovým efektem navozující přirozené větrání na každém patře. Jedná se o speciální konstrukční prvek budovy. Další opatření ke zlepšení kvality vnitřního prostředí zahrnuje použití automaticky řízeného přirozeného větrání okny během noci, automatický přívod venkovního vzduchu a systém řízení spotřeby energie, který využívá výhody optimální venkovní kvality vzduchu a teploty ke snížení nákladů na spotřebu energie budovy. [8]



Obr. 10 – Princip větrání [9]

Součásti používané k řešení hlavním záležitostí

- Kontrola vnitřní kvality vzduchu - CO₂ senzory
- Teplotní kontrola – teplotní senzory umístěné v místnostech nebo určité oblasti
- Zabezpečí větracích otvorů – otvory pro přirozené větrání jsou chráněny proti vniknutí nežádoucích předmětů
- Akustická ochrana – tlumiče hluku mezi jednotlivými místnostmi a chodbami
- Požární ochrana – kouřové senzory [8]

Kontrolní strategie

Automatická kontrola přirozeného větrání okny a větrného patra. Automatický kontrolní systém přívodu venkovního vzduchu založený na senzorech CO₂. V případě deště nebo větru o rychlosti větší než 10 m/s jsou všechny okna uzavřena. Provoz je centrálně řízen. [8], [9]

Využití přirozeného systému větrání snižuje energii potřebnou pro chlazení budovy, v rozmezí od 90 % v dubnu (jaro) až po minimálně 6 % v červenci (léto), a pokračuje ke snížení chlazení na přibližně 62 % v listopadu (podzim). Navržené větrné patro zahrnuje automatické řízené větrání okny v každém nižším patře, kde zvyšuje intenzitu větrání o 30 %. [8]

2.2.2 The Grong school, Norsko

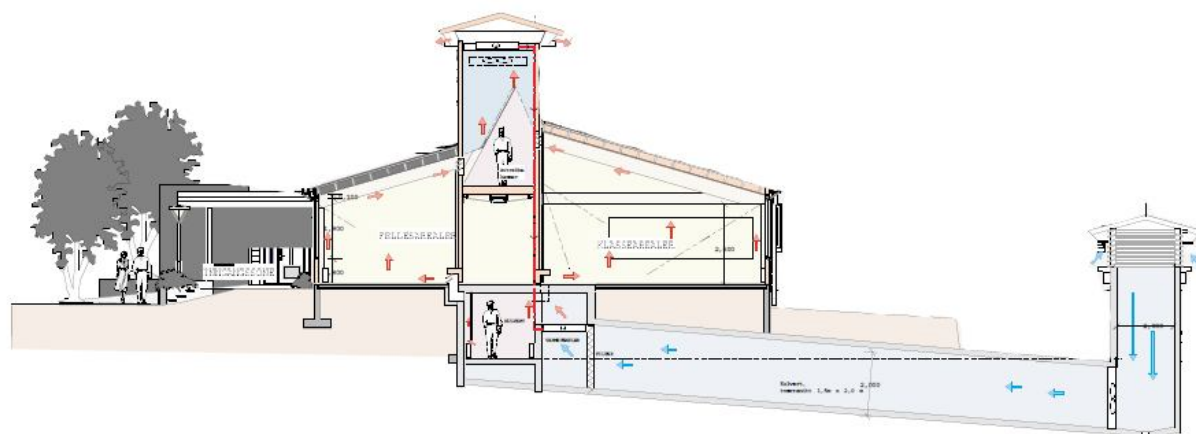
Je jednopodlažní základní škola o rozloze 1000 m², navržena pro 223 osob. Budova byla postavena v roce 1998.

Princip zajištění kvality vnitřního vzduchu a tepelné pohody

Cíle pro kvalitu vnitřního prostředí spočívají v dosažení méně než 10 % nespokojených uživatelů a vyhnout se vystavení, které může mít za následek krátkodobé nebo dlouhodobé zdravotní rizika mezi uživateli. Nízká emisivita materiálů, zdrojové větrání, požadavkové větrání a rekuperace tepla odpadního vzduchu byla aplikována s cílem zajistit uspokojivé vnitřní prostředí v kombinaci s nejnižší možnou spotřebou energie pro větrání. Denní osvětlení, pomocí světlíku, bylo instalováno ve všech třídách pro zlepšení vnitřního prostředí a snížení elektrické energie pro umělé osvětlení. [8]

Princip hybridního větrání

Teplota ve škole je po většinu roku vyšší než venkovní teplota. V daném místě neexistuje stálý vítr s potřebnou silou. Pro tento projekt bylo vybráno vztahové řízené větrání asistované ventilátory. Budova má výfukovou věž, která byla navržena tak, aby využila sílu větru, je-li k dispozici, a aby zabránila vstupu venkovního vzduchu. Výsledná výška sloupce ohřátého vzduchu je kolem 10 m. Proudění vzduchu v budově je dimenzováno na rychlost až 1 m/s. Proto komponenty, jako filtr a výměník tepla, jsou mnohem větší, než které se používají pro běžné nucené systémy větrání. K překonání celkové tlakové ztráty jsou instalovány ventilátory na straně sání a na výstupu. Při potřebě velkého množství vzduchu jsou v činnosti oba ventilátory, například pro chlazení v létě. Před vstupem do budovy je venkovní vzduch veden 15 m dlouhým podzemním potrubím. Tímto jsou tlumeny denní výkyvy teploty venkovního vzduchu. [8]



Obr. 11 – Princip větrání [10]

Součásti používané k řešení hlavních záležitostí

- Kontrola vnitřní kvality vzduchu – jeden senzor CO₂ ve výšce 1 m v každé místnosti
- Teplotní kontrola – jeden teplotní senzor ve výšce 1 m v každé místnosti
- Kontrola rychlosti proudění – senzory CO₂ a teplotní senzory na ovládání výstupní klapky pro každou místnost a přívodní a odvodní ventilátor [8]

Kontrolní strategie

Kontrolní strategie je navržena tak, aby teplota byla v požadované úrovni po celou dobu (nedochází k redukci během noci). Jestliže je budova prázdná, větrání není zastaveno, ale běží v režimu přirozeného větrání, které zajišťuje stále a nízké proudění vzduchu pro odstranění škodlivin. Teplota v místnostech je mezi 20-22 °C ve výšce 0,8 m nad zemí. Přiváděný vzduch má teplotu 19 °C. Uživatelé mohou kontrolovat vnitřní klima na teploměru a na displeji senzoru CO₂. [8], [10]

2.3 Projekt RESHYVENT

Na projekt Annex 35 HybVent navázal projekt RESHYVENT (RESidential HYbrid VENTilation). RESHYVENT byl projekt 5. rámcového programu EU zaměřený na využití hybridních větracích systémů v obytných budovách (nových i stávajících) se zvláštním důrazem na integraci obnovitelných zdrojů energie. Projekt probíhal v letech 2002 až 2004. [11]

Hlavním cílem projektu bylo vyvinout 4 typy hybridních větracích systémů pro rozdílná teplotní pásma. Na projektu pracovala čtyři průmyslová konsorcia (IC) ve spolupráci s všeoborovými vědeckými týmy. Každé IC vyvinulo fungující prototyp hybridního systému větrání pro určené teplotní pásmo. Vedoucí země – drsné pásmo Norsko, studené Švédsko, mírné Holandsko a teplé Francie. [11]

Pozornost byla věnována teplotně komfortním podmínkám během zimy (průvan) pro studené a mírné pásmo a pro teplotní podmínky během letního období (přehřívání) pro mírné a teplé pásmo. Projekt RESHYVENT kladl důraz na začlenění obnovitelných zdrojů energie. Navzdory hybridnímu charakteru systému je nutná energie pro provoz ventilátoru, senzorů a řídicího systému. Tato energie, pokud je to možné, je vytvářena udržitelnou technologií, jako jsou fotovoltaické články a větrná energie. [11]

Tab. 2 – Aplikační oblasti čtyř hybridních větracích systému [11]

	IC 1 - ŠVÉDSKO	IC 2 - NIZOZEMSKO	IC 3 - BELGIE, FRANCIE	IC 4 - NORSKO
Podnebí	Studené	Mírné	Teplé	Drsné
Typ budovy	Byty	Obytné domy Byty	Obytné domy	Obytné domy
Obnovitelné zdroje energie	Vítr, Fotovoltaika, Rekuperace tepla	Fotovoltaika Vítr	Fotovoltaika	Vítr Rekuperace tepla
Letní komfort	Ne	Omezený	Zásadní	Ne
Zimní komfort	Důležitý	Důležitý	Důležitý	Zásadní
Přívod	Zásadní	Důležitý	Důležitý	Zásadní
Odvod	Zásadní	Zásadní	Zásadní	Zásadní

2.3.1 Systém pro studené klima

Koncepce větrání pro chladné podnebí byla vyvíjena ve Švédsku. Tento koncept větrání je založen na systému odvětrávání vzduchu s nízkými tlakovými rozdíly. Tyto rozdíly přispívají ke snížení spotřeby elektrické energie pro větrání. Každý byt je vybaven samostatným ventilátorem, který má vestavěný kontrolní systém, jenž udržuje konstantní průtok vzduchu nezávisle na okolních podmínkách. Uživatel může na ovládacím panelu nastavit požadovaný průtok vzduchu, podle počtu přítomných osob a individuálních potřeb. Přiváděný venkovní vzduch je předehříván konvektorem. Každý byt má individuální kontrolu vnitřního prostředí a individuální měření spotřeby energie. Snahou této kontroly je motivovat uživatele provozovat byt energeticky efektivním způsobem. [12]



Obr. 12 – ovládací panel pro studené klima [12]

Cílem projektu byl rozvoj energeticky účinného (sníženy energetické ztráty větráním) a uživatelsky přívětivého větracího systému v porovnání s tradičním nuceným větráním bez zpětného získání tepla. Systém je schopen splnit přísné požadavky na vnitřní mikroklima. Tento systém byl vyvinut především pro nové byty, lze jej také použít při renovaci. [11], [12]

2.3.2 Systém pro mírné klima

Systém byl vypracován holandským konsorciem. Jedná se o požadavkový hybridní systém s decentralizovaným přívodem z fasády a centrálním odvodem vzduchu. Odvod vzduchu může být přirozený nebo nucený. Charakteristickým

znakem tohoto systému je extrémně nízký odpor vzduchovodů (<2 Pa při 56 dm³/s). V rámci IC2 byl vyvinut speciální ventilátor s příkonem 2 W. Tento extrémně nízký příkon ventilátoru je možný kombinací nízkých tlakových ztrát a větrným střešním nástavcem (<1 Pa při 56 dm³/s). Tento systém byl instalován v experimentálním domě v Brně v ČR. [11]

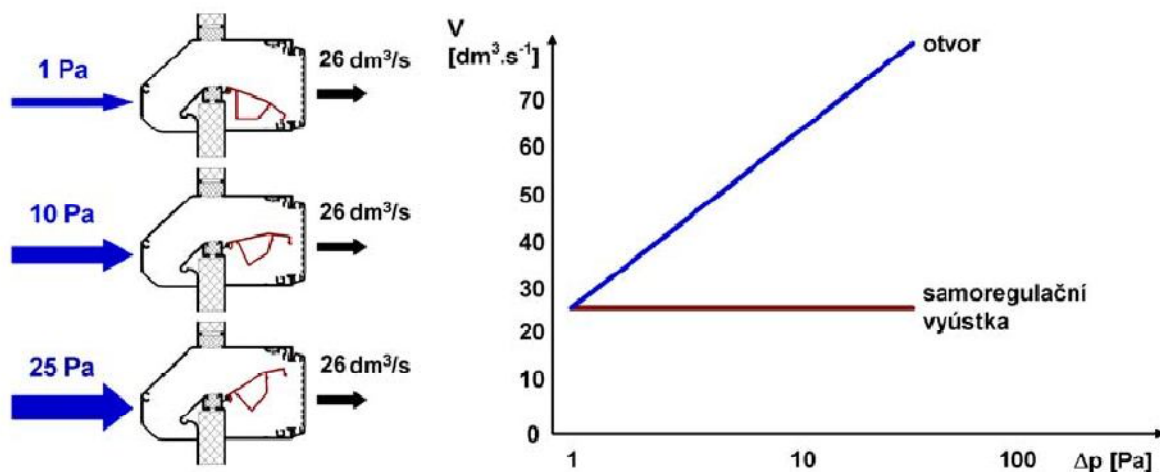
Experimentální dům pro výzkum větrání

Do projektu RESHYVENT se zapojila i ČR. Odbor termomechaniky a techniky prostředí Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně se podílel na vývoji hybridního větracího systému pro mírné klimatické pásmo, vyvinutý v rámci projektu konsorciem nizozemských firem ve spolupráci s ústavem aplikovaného výzkumu TNO. [13], [14]

V areálu VUT v Brně byl v roce 2004 postaven experimentální dům, který používá systém konsorcia IC2. Pro podmínky ČR byl doplněn tepelným čerpadlem pro zpětné získávání tepla z větracího vzduchu a solárním komínem pro pasivní chlazení v letním období. Instalovaný větrací systém využívá přirozené větrání asistované pomocným ventilátorem. Je-li to možné, systém využívá přirozených sil (rozdíl teplot, účinek větru), a pokud jsou tyto síly nedostatečné, uvádí se do provozu ventilátor. [13], [15]

Venkovní vzduch přiváděný do místnosti je přirozený pomocí samoregulačních přiváděcích vyústek, které jsou umístěny nad okny. Odvod vzduchu může být přirozený nebo nucený v závislosti na klimatických podmínkách a požadovaném průtoku větracího vzduchu. [13]

Samoregulační vyústky jsou ovládané servomotoricky a zajišťují konstantní průtok vzduchu při rozdílu tlaků větším než 1 Pa. Tyto vyústky omezují průtok přiváděného vzduchu, a tím podstatně snižují možnost výskytu průvanu. Vyústky jsou umístěny v rámu okna. [14]



Obr. 13 – Princip činnosti samoregulační vyústky [13]

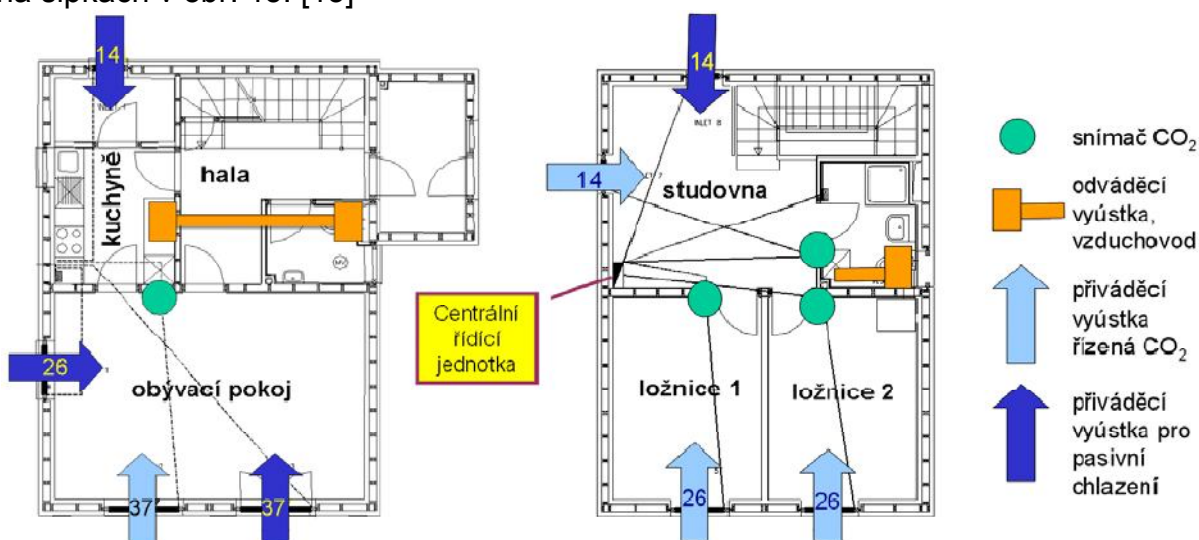
Znečištěný vzduch je odváděn odváděcími vyústkami umístěnými v kuchyni, koupelně a WC. Odváděcí část hybridního větracího systému:

- Odváděcí vyústka 1
- Motoricky ovládaná regulační klapka 2
- Úsporný axiální ventilátor 3
- Anemometr pro měření průtoku 4
- Napájecí a řídicí jednotka ventilátoru 5
- Střešní nástavec 6. [13], [15]



Obr. 14 - Odváděcí část hybridního větracího systému [13]

K řízenému větrání dochází na základě koncentrace CO_2 v obytných místnostech. V každé obytné místnosti se nachází senzor CO_2 . Řízený větrací systém obsahuje taky vyústky pro pasivní chlazení intenzivním větráním. Samoregulační vyústky mají čtyři stupně regulace (70%, 100%, 150% a 200% nominálního průtoku). Nominální průtoky jednotlivých vyústek v dm^3/s jsou uvedeny na šipkách v obr. 15. [13]



Obr. 15 – schéma hybridního větrání [13]

V případě, že odváděcí část má velmi malou tlakovou ztrátu, může hybridní větrací systém pracovat v režimu přirozeného větrání. Tlaková ztráta vzduchovodů v experimentálním domě je 5 Pa při průtoku $100 \text{ dm}^3/\text{s}$. Ventilátor má příkon 2 W při průtoku $56 \text{ dm}^3/\text{s}$ a rozdíl tlaků 14 Pa. Při maximálních otáčkách ventilátoru je průtok vzduchu z odváděcí části systému $140 \text{ dm}^3/\text{s}$. [13]

Dům slouží k dlouhodobému testování hybridního větracího systému a ke zkoumání energetické náročnosti celého domu, hlavně spotřeby energie na větrání. Dále experimentální dům slouží široké odborné i laické veřejnosti jako

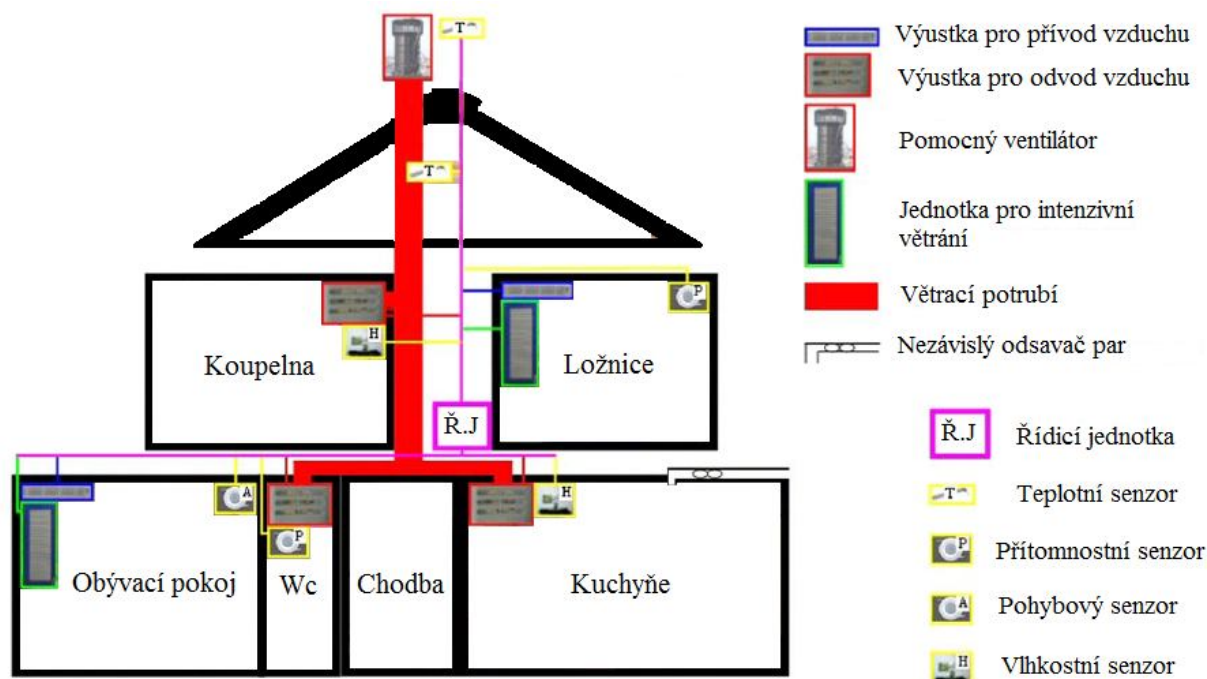
ukázkový projekt řízeného větrání v podmínkách ČR a k výukovým a demonstračním účelům pro výzkum větrání. [13], [14]

2.3.3 Systém pro teplé klima

Cílem této koncepce je poskytnout větrací systém, který zajistí kvalitní vnitřní ovzduší, úsporu energie při vytápění (chlazení) a přijatelnou tepelnou pohodu v letním období zejména s využitím obnovitelných zdrojů energie. [16]

Koncepce systému

Koncept, vyvinutý pro teplé klima, je řízený větrací systém založený na senzorech pro zjišťování přítomnosti, pohybu, relativní vlhkosti a teploty. Otázka letního komfortu je řešena začleněním intenzivního větracího zařízení do systému. Všechny větrací zařízení (vstupy a výstupy vzduchu, intenzivní větrací zařízení, ventilátory) jsou řízeny centrální řídicí jednotkou, která určuje proudění vzduchu v každém pokoji, otáčky ventilátoru a otevírání určitých oken. Rovnováhu mezi přívodem a odvodem vzduchu udržuje centrální řídicí jednotka, která umožňuje potřebné úpravy režimu. Přívod, respektive odvod vzduchu, je zajišťován motorizovanými vstupními, respektive výstupními, otvory. Proudění vzduchu v koupelně a v kuchyni je regulováno senzorem relativní vlhkosti. Proudění v obývacím pokoji a ložnici je řízeno senzorem pohybu a senzorem přítomnosti. [11], [16]



Obr. 16 – požadavkový hybridní systém větrání pro teplé klima [11]

Pro tento systém byl vyvinut speciální odtahový ventilátor (Obr. 17). Ventilátor, umístěný na střeše, slouží jako střešní kryt využívající účinku větru. Hybridní charakter systému vychází z faktu, že ventilátor se vypne v případě, že přirozené větrání je dostatečné. Spotřeba energie ventilátoru je 2 W při rozdílu tlaku 6 Pa nebo při průtoku 70 dm³/s. Systém považujeme za dvou-režimový, nikoli za nízko-spotřební systém nuceného větrání. Během velmi teplých dnů je využíváno noční chlazení. Do budovy je přiváděn chladnější venkovní vzduch. [11], [16]

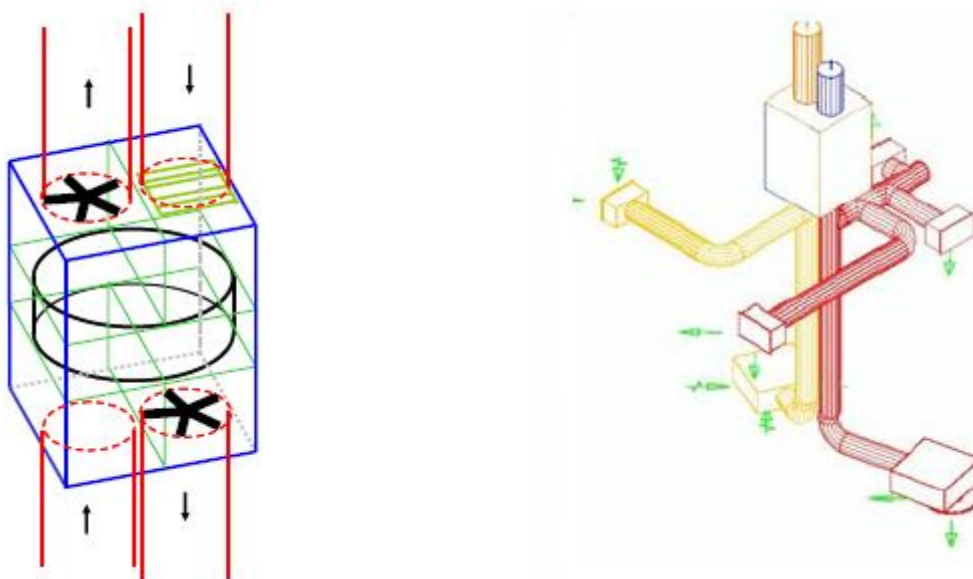


Obr. 17 – Odtahový ventilátor pro teplé klima [11]

2.3.4 Systém pro drsné klima

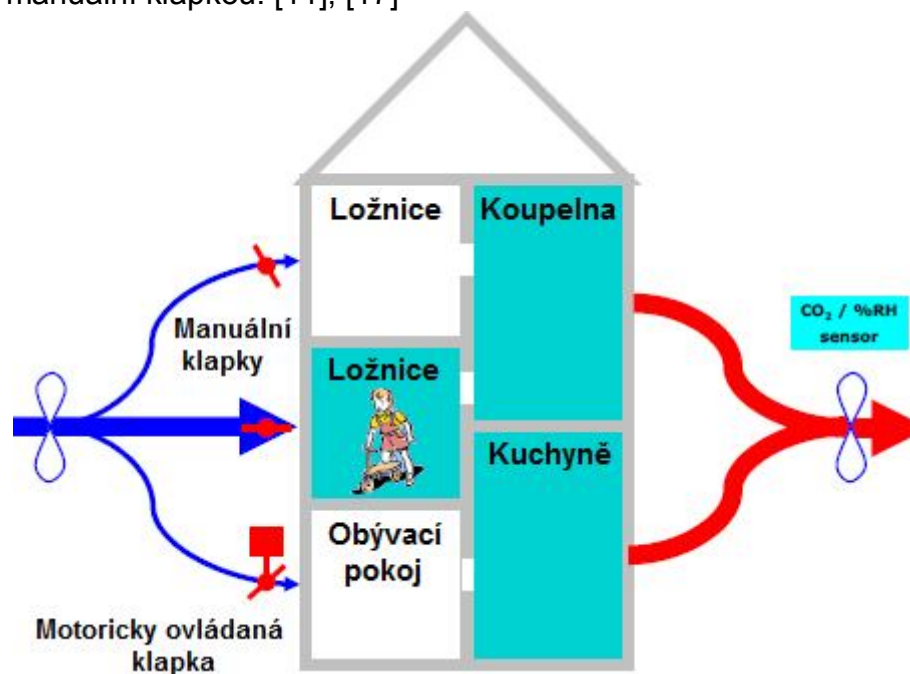
Norská koncepce je vyvíjena pro extrémně chladné podnebí. V tomto chladném podnebí je nutná rekuperace tepla pro předehřev přiváděného vzduchu. Snahou této koncepce je spojit výhody rekuperace tepla s velmi nízkou tlakovou ztrátou systému. [11]

Vyvážené větrání zajištěné vzduchotechnickou jednotkou, která se skládá ze dvou účinných axiálních ventilátorů, rotačního výměníku tepla vzduch-vzduch a elektrostatického vzduchového filtru. Vyvážené větrání je forma větrání, při které se v bytě průběžně obměňuje potřebné množství vzduchu. Vzduch v místnosti je odváděn a současně s tím je do místnosti přiváděno stejné množství čerstvého vzduchu. [11]



Obr. 18 – rotační výměník tepla a potrubní systém [11]

Požadovaný průtok vzduchu je řízen senzory CO₂ nebo senzory relativní vlhkosti (nebo obou), které jsou umístěny v odvodním systému větrání. Průtok vzduchu je řízen tak, aby koncentrace (CO₂ nebo vlhkost) byla pod určenou hodnotou. V obývacím pokoji jsou umístěny motoricky ovládané klapky (na přívodním potrubí). Klapka je řízena IR senzorem. Pokud je obývací pokoj neobsazen, je přiváděný vzduch přesměrován do ložnic. Vzduch přiváděný do ložnic je možno regulovat manuální klapkou. [11], [17]



Obr. 19 – Ilustrace proudění vzduchu [17]

Diskuze

Současný trend ve stavebnictví je úspora elektrické energie, proto se zateplují fasády, vyměňují okna a staví nízkoenergetické a pasivní domy. Další úspora elektrické energie je ve využití obnovitelných zdrojů energie. Domy mohou ohřívát teplou užitkovou vodu nebo být vytápěny použitím solární energie. Stát podpořil tento trend dotačním programem Zelená úsporám. Tento program se týkal rodinných domů, bytových domů i veřejných budov. Formou dotace podpořil úsporu elektrické energie (výměnu neekologického vytápění za ekologické), ohřev teplé užitkové vody, vytápění solární energií a stavbu nízkoenergetických domů. Tato dotace znamenala nižší prvotní investici, a tím i rychlejší ekonomickou návratnost.

Zateplení budovy a výměna oken může způsobit snížení výměny vzduchu pod hygienicky vyhovující úroveň. Pobyt v těchto budovách může přinést i zdravotní rizika (únavu, ospalost a bolesti hlavy). V nebytových prostorech, jako jsou školy a kanceláře, může snížit pracovní výkon.

Tato skutečnost může obrátit pozornost k hybridnímu větrání. Hybridní větrání může přinést další snížení nároků na elektrickou energii (využití rekuperace tepla, pasivního chlazení, větrné energie a solárních komínů), a zároveň může zajistit požadovanou kvalitu vnitřního vzduchu a tepelnou pohodu.

Pro rozvoj hybridního větrání jsou důležití odborníci, kteří budou mít potřebné znalosti. Již při prvotním návrhu budovy musí existovat úzká spolupráce mezi architektem a odborníkem na hybridní větrání. Pro návrh budovy s hybridním větráním je důležitá orientace budovy, směr a síla větru a umístění v okolní krajině.

ČR představuje poměrně malý trh. Komponenty pro hybridní větrání můžou být nákladné, a tím se značně zvýší prvotní investiční náklady. Zvýšit prvotní náklady můžou nároky na požární úseky, nároky na hlučnost a bezpečnost (otvory ve fasádě je třeba zajistit proti vniknutí hmyzu, srážek, eventuálně i osob). Větší rozšíření hybridních větracích systémů povede ke snížení ceny a konkurenci na trhu.

Velkou výhodou hybridního větrání oproti tradičním způsobům větrání je fakt, že se jedná o systém řízený (ušetří energii). Rozvoj počítačové techniky umožnil vytvořit řízený systém podle potřeb uživatelů. Každý uživatel může mít jiné nároky. Někdo upřednostňuje úsporu energie, jiný preferuje lepší vnitřní prostředí na úkor energie. Řídicí systém umožňuje nastavit některé parametry individuálně. Dále poskytuje možnost manuálního zásahu do řízení (po určité zvolené době se vrací zpět do automatického režimu).

Domnívám se, že nároky na vnitřní kvalitu vzduchu a tepelnou pohodu spolu s dalším snižováním elektrické energie dávají hybridnímu větrání budoucnost. Hlavní využití hybridního větrání by mohlo být v nebytovém sektoru (školy, kanceláře a podobné budovy), protože v těchto stavbách by měla být úspora energie větší než například v rodinných domech.

Důležitou roli ve větším uplatnění hybridního větrání může zastat stát. Stát určuje cenu elektrické energie. Čím bude cena vyšší, tím bude nabývat na významu i každá úspora elektrické energie. Stát může přispět k většímu využití hybridního větrání i vhodně zvoleným dotačním programem pro bytový i nebytový sektor.

Protože hybridní větrání může uspořit elektrickou energii, zachovat kvalitní vnitřní ovzduší a tepelnou pohodu, může představovat jeden z budoucích trendů větrání budov.

Závěr

Větrání je nutné řešit zároveň s vytápěním, protože tyto složky spolu úzce souvisí. Navzájem ovlivňují tepelnou pohodu a vnitřní kvalitu vzduchu v budově, a zároveň se podílejí na spotřebě elektrické energie. Trendem posledních let ve stavebnictví je zateplování fasád a výměna oken, to vše vede ke snížení celkové tepelné ztráty, a tím i vynaložené energie na vytápění. Negativním jevem tohoto trendu je, že v budovách dochází ke snížení výměny vzduchu přirozeným způsobem pod hygienicky vyhovující úroveň. Nedostatečná výměna vzduchu může zapříčinit zdravotní problémy (bolest hlavy, únava), zvýšení vlhkosti v budovách a výskyt plísní.

Zdokonalení nuceného nebo přirozeného systému větrání, ušetření energie a zajištění požadované vnitřní kvality vzduchu, naráží na své hranice. Hybridní větrání kombinuje výhody přirozeného a nuceného větrání. Snahou hybridního systému větrání je minimalizace spotřeby elektrické energie při zachování tepelné pohody a vnitřní kvality vzduchu. Hybridní větrání poskytuje příležitost ke zdokonalení řešení problémů větraných prostor. Tento systém spolu s využitím obnovitelných zdrojů energie může představovat budoucí směr v rozvoji výstavby budov.

Při navrhování nových budov a rekonstrukcích starých budov se věnuje více pozornosti řešením, která se zaměřují nejen na tepelnou izolaci, vzduchotěsnost a rekuperaci tepla, ale i na optimální využití technologií, jako jsou pasivní solární zisky a přirozená ventilace. Budovy jsou navrženy tak, aby využívaly venkovní prostředí k vytvoření přijatelného vnitřního prostředí.

Hybridní větrací systémy jsou vyvíjeny řadu let. V rámci projektu Annex 35 HybVent Mezinárodní energetické agentury bylo hybridní větrání zaměřeno na nebytové prostory (kanceláře, školy a laboratoře). Na projekt Annex 35 HybVent navazuje projekt RESHYVENT podporovaný EU. Tento projekt se zabýval obytnými budovami. V rámci projektu byly vyvinuty čtyři systémy hybridního větrání pro různá teplotní pásma – drsné, chladné, mírné a teplé.

Projektu RESHYVENT se zúčastnila i ČR. V areálu FSI VUT v Brně byl postaven experimentální dům pro mírné teplotní pásmo. Dům slouží k testování hybridního větracího systému a ke zkoumání energetické náročnosti domu.

Seznam použitých zdrojů

- [1] DUFKA, Jaroslav. *Větrání a klimatizace domů a bytů*. 2005. Praha : Grada Publishing, a. s., 2005. 128 s. ISBN 80-247-1143-3.
- [2] SZÉKYOVÁ, Marta; FERSTL, Karol; NOVÝ, Richard. *Větrání a klimatizace*. 2006. Bratislava : JAGA, 2006. 360 s. ISBN 80-8076-037-3
- [3] E-LEARNING VUT – Technika prostředí (ITP 10/11Z) - Ventilation
- [4] JANOTKOVÁ, Eva. *Technika prostředí* [online]. Brno : [s.n.], 2010 [cit. 2011-05-19]. Dostupné z WWW: <<http://ottp.fme.vutbr.cz/vyuka/technikaprostredi/SylabyTP6.pdf>>.
- [5] JÍCHA, Miroslav; CHARVÁT, Pavel. HYBRIDNÍ VĚTRÁNÍ OBYTNÝCH BUDOV. In . [s.l.] : [s.n.], 2005. s. 9.
- [6] DE GIDS, W.F; JÍCHA, Miroslav. Hybrid Ventilation : AIVC VIP 32. In *AIVC Publications on ventilation and air infiltration*. [s.l.] : [s.n.], 2010. s. 8.
- [7] *Ottp.fme.vutbr.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-05-10]. Větrání. Dostupné z WWW: <<http://ottp.fme.vutbr.cz/vyzkum/vetrani.php>>.
- [8] DELSANTE, ANGELO; VIK, TOR ARVID. IEA-ECBCS Annex 35 HybVent. In *Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings, Annex 35, a task-sharing Annex to the IEA Implementing Agreement on Energy Conservation in Buildings and Community Systems*. [online]. [s.l.] : [s.n.], 2002 [cit. 2011-05-19]. Dostupné z WWW: <<http://hybvent.civil.auc.dk/puplications/sotar.pdf>>.
- [9] The Liberty Tower of Meiji University. In *IEA ECBCS Annex 35 : HybVent* [online]. [s.l.] : [s.n.], 1999 [cit. 2011-05-19]. Dostupné z WWW: <http://hybvent.civil.auc.dk/pilot_study_buildings/Case_studies_pdf/CS7%20Liberty.pdf>.
- [10] Mediå School. In *IEA ECBCS Annex 35 : HybVent* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2000 [cit. 2011-05-09]. Dostupné z WWW: <http://hybvent.civil.auc.dk/pilot_study_buildings/Case_studies_pdf/CS10%20Mediaa.pdf>.
- [11] DORER, Viktor; PFEIFFER, Andreas; WEBER, Andreas. . In . *Technical Note AIVC 59 : Parameters for the design of demand controlled hybrid ventilation systems for residential buildings*. Dübendorf, Switzerland: [s.n.], 2005. s. 112. ISBN 2-9600355-7-7.
- [12] BLOMSTERBERG, Åke. Final on IC1 : WP 9 Development and construction of four hybrid ventilation systems – IC1. In . [s.l.] : [s.n.], 2004. s. 13.
- [13] JÍCHA, Miroslav; CHARVÁT, Pavel. ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA PROJEKTU ČEA 222043 3802 : Výzkum hybridního větrání v nízkoenergetickém objektu. [s.l.] : [s.n.], 2005. s. 15.

- [14] *Ottp.fme.vutbr.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-05-11]. Experimentální dům. Dostupné z WWW:
<<http://ottp.fme.vutbr.cz/index.php?lang=1&menu=5&polozka=2>>.
- [15] JÍCHA, Miroslav; CHARVÁT, Pavel; OP 'T VELD, Peter. Demonstration house with hybrid ventilation. In *Cluster Project on Demand Controlled Hybrid Ventilation in Residential Buildings with Specific Emphasis on the Integration of Renewables*. [s.l.] : [s.n.], 2005. s. 32.
- [16] JARDINIER, M.; BERTHIN, S. Hybrid Demand Controlled Ventilation System : Mild/Moderate Climate (IC3). In . [s.l.] : [s.n.], 2004. s. 10.
- [17] ANTVORSKOV, Signe; HENDRIKS, Jan Willem. Specifications of applicable renewable sources for integration in possible prototypes : RESHYVENT-WP3.2. In . [s.l.] : [s.n.], 2004. s. 40

Seznam použitých zkratk

ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
HybVent	Hybrid ventilation
RESHYVENT	RESidential HYbrid VENTilation
IC	průmyslové konsorcium (anglicky: Industrial Consortium)
IR	infračervený
CO ₂	oxid uhličitý
VUT	Vysoké učení technické
FSI	Fakulta strojního inženýrství

Seznam použitých veličin

\dot{V}	objemový tok vzduchu	[m ³ /hod]
\dot{V}_p	objemový tok přiváděného vzduchu	[m ³ /hod]
\dot{V}_o	objemový tok odváděného vzduchu	[m ³ /hod]
N	intenzita výměny vzduchu	[1/hod]
p	tlak	[Pa]
Δp	tlakový rozdíl	[Pa]
h	výška	[m]
ρ_e	hustota vnějšího vzduchu	[kg/m ³]
ρ_i	hustota vnitřního vzduchu	[kg/m ³]
g	tíhové zrychlení	[m/s ²]
A	aerodynamický součinitel	[-]
w	rychlost větru	[m/s]
ε	součinitel větrací rovnováhy	[-]
t	teplota	[°C]
P	příkon	[W]