

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Definování parametrů ovlivňující kvalitu vnitřního prostředí
dřevěných staveb

Vypracoval: Bc. Jan Kropáček

Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Sviták, Ph.D.

2014

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Kropáček Jan

Dřevařské inženýrství

Název práce

Definování parametrů ovlivňující kvalitu vnitřního prostředí dřevěných staveb

Anglický název

Determining of the parameters affecting indoor environmental quality in wooden buildings

Cíle práce

Cílem práce je definování parametrů ovlivňující kvalitu vnitřního prostředí dřevěných staveb, se zaměřením na větrací systémy se zpětným získem tepla - rekuperační jednotky. Dalším cílem bude stanovit, na základě naměřených hodnot ve vnitřním prostředí, nejvhodnější systém v konkrétním návrhu, vč. realizačních podmínek.

Metodika

- 1) Úvod - základní informace o problematice, zdravotní důvody, pohoda prostředí obytných budov
- 2) Dílčí cíle práce
- 3) Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí v RD - normativní, uživatelské, ekonomické
- 4) Základní druhy větrání - vstupní fyzikální veličiny, charakteristické hodnoty výměny vzduchu jednotlivých druhů větrání
- 5) Rekuperační jednotky a výměníky pro RD - dostupné výrobky lokálního trhu, cenová problematika, základní informace o zařízeních, rozdělení do kategorií dle zvolené metodiky
- 6) Srovnávací analýza - výsledky všech rekuperačních jednotek a výměníků dle naměřených hodnot ve zvolené dřevostavbě, vytvoření porovnávacích tabulek dle metodiky
- 7) Řešení vnitřní kvality prostředí u RD - realizační podmínky jednotlivých návrhů s uvedenými parametry
- 8) Vyhodnocení - uvedení výsledků a zhodnocení zjištěných parametrů u navrhované varianty s nejlepšími výsledky
- 9) Závěr a zhodnocení

Harmonogram zpracování

Datum zadání práce: únor 2013

Vypracování zadávacího listu: květen 2013

Příprava a zpracování podkladů: červenec 2013

Literární rešerše a zpracování textové části: říjen 2013

Zpracování tabulkové a numerické části: prosinec 2013

Finální úprava práce a odevzdání ke kontrole: únor 2014

Datum odevzdání práce: 20. 4. 2014

Rozsah textové části

60 - 70 stran

Klíčová slova

vnitřní prostředí, dřevostavby, větrání, rekuperace

Doporučené zdroje informací

VAVERKA, J. Dřevostavby pro bydlení. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 376 s. ISBN 978-80-247-2205-4.

DUFKA, J. Větrání a klimatizace domů a bytů. 2. přeprac. vyd. Praha: Grada, 2002, 128 s. ISBN 80-247-1144-3.

SMOLA, J. Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2011, 352 s. ISBN 978-80-247-2995-4.

KOLB, J. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. 3., aktualiz. vyd. v České republice. Překlad Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2011, 317 s. ISBN 978-80-247-4071-3.

ŠEFCŮ, O., ŠTUMPA, B. 100 osvědčených stavebních detailů: tradice z pohledu dneška. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2010, 210 s. ISBN 978-80-247-3114-8.

Vedoucí práce

Sviták Martin, Ing.

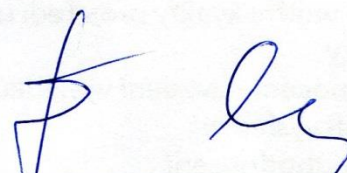
Termín odevzdání

duben 2014



doc. Ing. Martin Böhm, Ph.D.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.

Děkan fakulty

V Praze dne 8.8.2013

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Definování parametrů ovlivňující kvalitu vnitřního prostředí dřevěných staveb vypracoval samostatně pod vedením Ing. Martina Svitáka, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom zveřejnění diplomové práce, souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze, dne:.....

Bc. Jan Kropáček

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval za odborné vedení a zapůjčení měřicího přístroje vedoucímu mé diplomové práce Ing. Martinu Svitákovi, Ph.D. Dále bych chtěl poděkovat všem blízkým lidem, kteří mě podporovali jak při psaní diplomové práce, tak i v průběhu celého studia.

Bc. Jan Kropáček

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá vnitřní kvalitou prostředí rodinných domů, se zaměřením na větrací systémy se zpětným ziskem tepla – na rekuperační jednotky. V práci je proveden průzkum aktuálně dostupných rekuperačních jednotek na českém trhu s ohledem na jejich technické údaje a v neposlední řadě aktuální cenu. Pomocí měření je porovnán vliv vybraných systémů nuceného větrání se zpětným ziskem tepla na vybrané objekty s ohledem na CO₂, relativní vlhkost, teplotu a absolutní tlak. V závěru práce jsou porovnány parametry vnitřního prostředí řízeného větrání ve vybraných dřevostavbách ve Starém Vestci, Vinoři a Květnici, ve zděném objektu v Praze v Uhříněvsi a v panelovém bytě v Praze na Pankráci.

Klíčová slova: vnitřní prostředí, dřevostavby, větrání, rekuperace

Abstract

This thesis deals with the quality of the internal environment of houses, focusing on ventilation systems with reversing heat gain - the heat recovery unit. The authors surveyed the market recovery units currently available on the Czech market with regard to their technical data and, last but not least the current price. Use the measurement is compared to the effect of selected systems of forced ventilation with back heat gain to the selected objects with respect to CO₂, relative humidity, temperature and absolute pressure. In conclusion, the comparison of the parameters of the internal environment of controlled ventilation in selected wooden houses, Vinor and Kvetnice, in a brick building in Prague Uhrineves in a tenement flat in Prague Pankrac.

Keywords: internal environment, wooden buildings, ventilation, heat recovery

Obsah

1. Úvod	8
2. Cíle práce	9
3. Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí	10
3.1 Normativní požadavky.....	10
3.1.1 Zákony.....	11
3.1.2 Prováděcí předpisy.....	11
3.1.3 Normy	12
3.2 Uživatelské požadavky.....	13
3.2.1 Teplota a vlhkost	13
3.2.2 Plyny.....	16
3.2.3 Mikroby.....	20
3.2.4 Prašnost	23
3.2.5 Akustika.....	23
3.2.6 Osvětlení	24
3.3 Ekonomické požadavky	25
4. Základní druhy větrání	27
4.1 Základní druhy větrání	27
4.1.1 Přirozené větrání	27
4.1.2 Nucené větrání	30
4.2 Vstupní fyzikální veličiny	31
4.2.1 Oxid uhličitý CO ₂	31
4.2.2 Teplota	32
4.2.3 Relativní vlhkost vzduchu	32
4.2.4 Atmosférický tlak	32
5. Řešení vnitřní kvality prostředí u RD.....	33

5.1	Návrh systému řízeného větrání	33
5.1.1	Příklady materiálů pro rozvody vzduchu	33
5.1.2	Příklad návrhu řízeného větrání.....	36
5.2	Množství větracího vzduchu.....	38
5.3	Požadavky na větrání z vyhlášky	38
5.4	Požadavky na větrání z normě.....	38
6.	Rekuperační jednotky a výměníky pro RD	40
6.1	Rozdělení výměníků.....	40
6.1.1	Rekuperační výměníky přímé	41
6.1.2	Rekuperační výměníky nepřímé	43
6.2	Rekuperační jednotky s přímým výměníkem	44
6.2.1	Air Pohoda s.r.o.....	44
6.2.2	Atrea s.r.o.....	44
6.2.3	Brink Climate Systems	45
6.2.4	Lifebreath	46
6.2.5	Nibe.....	46
6.2.6	Nilan s.r.o.	47
6.2.7	Paul	47
6.2.8	Regulus spol. s.r.o.....	48
6.2.9	Soler and Palau.....	49
6.2.10	Steibel Eltron spol. s.r.o.	49
6.2.11	ThermWet s.r.o.	50
7.	Srovnávací analýza	51
7.1	Měření Starý Vestec.....	52
7.2	Měření Vínůř	56
7.3	Měření Květnice	60

7.4	Měření Uhříněves.....	64
7.5	Měření Pankrác.....	68
8.	Vyhodnocení	72
8.1	Vyhodnocení jednotlivých objektů.....	72
8.1.1	Starý Vestec	72
8.1.2	Vinoř	72
8.1.3	Květnice.....	73
8.1.4	Uhříněves	73
8.1.5	Pankrác	74
8.2	Celkové vyhodnocení.....	74
8.2.1	Oxid uhličitý	75
8.2.2	Relativní vlhkost	76
9.	Závěr a zhodnocení.....	77
	Seznam použité literatury	79
	Seznam elektronických pramenů.....	81
	Seznam obrázků	84
	Seznam tabulek.....	85
	Seznam grafů	86
	Seznam použitých zkratk	87
	Přílohy.....	88

1. Úvod

Lidská populace tráví až 90 % svého času ve vnitřním prostředí. Délka setrvání v interiéru se liší podle věku, povolání a dalších okolností. V každém případě stráví člověk zhruba třetinu svého dne spánkem nebo odpočinkem. Kvalitu prostředí uvnitř obytných objektů neurčují pouze vlastnosti budovy a její technické vybavení, ale nemalou mírou také sám člověk svým působením (Zmrhal, 2014).

Vzhledem k tomu, že lidé tráví v interiérech tolik času, je nutné, aby k tomu tyto prostory byly patřičně uzpůsobeny. Velmi důležité je dodržování určitých limitních hodnot hlavních parametrů určujících vnitřní prostředí. Dodržování těchto hodnot zajistí, že prostředí bude vhodné pro práci či odpočinek – tedy k dlouhodobému pobytu. Dle Zmrhala (2014) se ukazuje, že až 50 % všech onemocnění je závislých na kvalitě vnitřního prostředí, ve kterém se lidé pohybují.

Negativní vliv na obytné prostředí mají dokonale utěsněné novostavby s nedostatečným větráním i nevhodně provedené revitalizace starších objektů z hlediska dostatečného větrání. Jedná se především o výměnu oken při zateplování fasád. Tato nová okna s vícestupňovým těsněním a více skly zamezují přirozené výměně vzduchu pomocí infiltrace, která do té doby výměnu vzduchu zajišťovala. Tento problém lze částečně vyřešit použitím oken s mikroventilací, bohužel však za cenu snížení akustického útlumu a tepelných ztrát.

Právě z důvodu obavy velkých tepelných ztrát při větrání otevřenými okny či mikroventilací, se toto větrání omezuje uživateli na minimum. Řešením těchto problémů je v dnešní době realizace systémů řízeného větrání se zpětným ziskem tepla. Tyto systémy mohou mít nainstalovány i čidla měřící hladinu CO₂ či vlhkosti, která automaticky reagují na aktuální kvalitu vnitřního prostředí v obytných prostorech a mohou automaticky řešit nastalou situaci, kdy je hladina CO₂ či vlhkosti nadlimitní a narušuje tak kvalitu vnitřního prostředí.

2. Cíle práce

Diplomová práce je zaměřena na analýzu parametrů vnitřního prostředí z teoretické i praktické roviny.

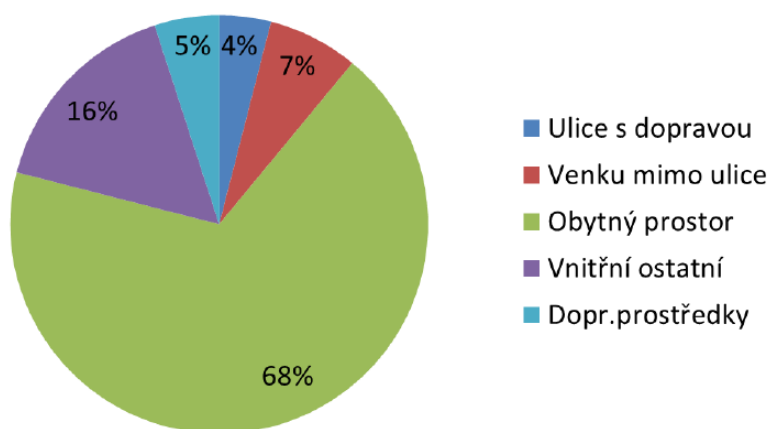
V teoretické části nastiňuje základy hygienických parametrů, které s kvalitním vnitřním prostředím budov velmi úzce souvisí. Dále je uveden současný přehled výrobců rekuperačních jednotek aktuálně dostupných na českém trhu. U každého z vybraných výrobců je uveden stručný popis firmy a jejich základní rekuperační jednotky užívané pro běžné rodinné domy a to s kapacitou větrání 150 – 400 m³/h bez podstropních variant.

Cílem praktické části diplomové práce je v objektech, které se nacházejí ve Starém Vestci, Vinoři, Květnici, Praze Uhříněvsi a v Praze na Pankráci změřit reálné hodnoty parametrů CO₂, relativní vlhkosti, teploty a tlaku během 24 hodin se spuštěným či vypnutým systémem řízeného větrání s rekuperací tepla a zároveň jejich porovnání s limitními hodnotami uvedenými v teoretické části práce. Pro srovnávací analýzu byly vybrány tři dřevostavby, jedna zděná stavba a byt v panelovém domě jako jeden z nejběžnějších typů bydlení v České republice. U panelového bytu byly sledovány hodnoty se zavřeným oknem a následně použitou mikroventilací na okně. V závěru práce jsou všechny měřené domy porovnány s limitními hodnotami.

3. Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí

Vnitřní prostředí, nebo také mikroklima, vymezuje omezenou část životního prostředí, jejíž stav utvářejí veličiny reprezentující energetické a hmotnostní toky mezi dvěma prostředími. Vnitřní prostředí budov určených pro obývání je pro zdraví člověka velice důležité, protože lidé tráví většinu svého času v interiérech budov, jak je patrné z Grafu 1 (Papež, Kabrhel, 2005).

Graf 1 Procentuální rozložení prostředí, ve kterém se lidé pohybují během dne. (Kabele, 2013)



3.1 Normativní požadavky

Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí budov jsou obecně určeny zákony, jejichž detailnější zpracování včetně limitů pro jednotlivé faktory poté najdeme v jejich příslušných prováděcích předpisech, to znamená v nařízeních vlády a ve vyhláškách.

Pro potřeby pokrytí oblastí, které právně závaznými předpisy pokryty nejsou, máme k dispozici technické normy – tyto normy jsou v současné době pouze doporučeními, k jejichž dodržování však není nikdo nucen (Mathauserová, 2009). V následujících kapitolách jsou uvedeny nejdůležitější zákony, prováděcí předpisy a normy, které se dotýkají problematiky zajištění kvalitního vnitřního prostředí.

3.1.1 Zákony

Požadavky na parametry vnitřního prostředí vycházejí ze tří zákonů:

č. 183/2006 Sb., stavební zákon se zabývá obecnými požadavky pro výstavbu

č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví se zabývá stanovením hygienických limitů chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb

č. 262/2006 Sb., zákoník práce stanovuje bezpečnostní a hygienické limity pro pracovní prostředí, jako jsou zejména objem nově přichozího čerstvého vzduchu, vlhkost, teplota a řádné osvětlení

3.1.2 Prováděcí předpisy

nařízení vlády č. 148/2006 Sb., se zabývá ochranou zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací (prováděcí předpis k zákonu č. 258/2000 Sb.), kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy.

nařízení vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením (prováděcí předpis k zákonu č. 258/2000 Sb.) Se zabývá minimálními požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví před riziky spojenými s fyzikálními činiteli jako jsou elektromagnetická pole a optická záření z umělých zdrojů.

vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj č. 137/1998 Sb., uvádí o obecné technické požadavky na výstavbu (prováděcí předpis k zákonu č. 50/1976 Sb.) ve znění vyhlášky č. 502/2006 Sb. (změny v souladu s novým stavebním zákonem č. 183/2006 Sb.)

vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb., vyhláška stanovuje hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb (prováděcí předpis k zákonu č. 258/2000 Sb.)

vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj č. 20/2012 Sb., tato vyhláška stanovuje množství nově přichozího čerstvého vzduchu na osobu do místnosti. Stanovuje koncentraci oxidu uhličitého jako ukazatel kvality vnitřního prostředí.

3.1.3 Normy

Z hlediska navrhování systémů větrání a klimatizace jsou důležité zejména následující normy:

ČSN EN 15240 Větrání budov – Energetická náročnost budov – Směrnice pro kontrolu klimatizačních systémů a **ČSN EN 15239** Větrání budov – Energetická náročnost budov – tato Směrnice se zabývá kontrolou větracích systémů.

Normy popisují společnou metodiku pro kontrolu větracích a klimatizačních systémů v budovách z hlediska spotřeby energie. Normy se vztahují na všechny typy systémů klimatizace a chlazení (určených pro vytváření tepelné pohody) s celkovým chladicím výkonem větším než 12 kW.

ČSN EN 13779 Větrání nebytových budov – Základní požadavky na větrací a klimatizační systémy.

ČSN EN 12599 Větrání budov – Zkušební postupy a měřicí metody pro přejímky instalovaných větracích a klimatizačních zařízení. Norma stanovuje kontroly, zkušební metody a měřicí přístroje, které slouží k ověření způsobilosti instalovaných zařízení v etapě přejímky. Norma umožňuje volbu mezi zjednodušenými zkušebními metodami v případě jejich adekvátnosti nebo rozšířenými měřeními v případě nutnosti. Norma se vztahuje na větrací a klimatizační systémy navržené za účelem zajištění podmínek tepelné pohody v budovách, s výjimkou obytných budov.

ČSN EN 15251 Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky. Norma prezentuje návrhová kritéria pro dimenzování systémů, posuzování energetické náročnosti budovy a dlouhodobé hodnocení vnitřního prostředí. V závislosti na typu budovy, uživatelích, typu klimatu a národních rozdílech jsou definovány různé kategorie vnitřního prostředí.

ČSN EN 15665/Z1 Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov. Národní příloha v podobě změny Z1 definuje požadavky na větrání obytných budov a doporučuje vhodné systémy větrání.

3.2 Uživatelské požadavky

Zásadním faktorem kvality budov je stav jejich vnitřního prostředí, který se vytváří v závislosti na provedení stavebních konstrukcí, provozu budovy a na aktuálních vnějších podmínkách. Cílem tvorby interního mikroklima je optimální stav prostředí s konstantní úrovní a s minimálními energetickými nároky při měnících se vnějších klimatických podmínkách v průběhu ročního období (Greener future solutions, 2013).

Základními kritérii pro zajištění požadované kvality vzduchu ve vnitřním prostředí v obytných budovách je větrání, které je základním určujícím parametrem pro pohodu přítomných osob a jejich zdraví. Jelikož v obytném prostředí se může objevit celá řada škodlivin, které svou přítomností mohou mít negativní vliv na pohodu člověka a tím právě i na jeho zdraví (Habel, 2012). V následujících kapitolách se proto práce bude zabývat jednotlivými složkami vnitřního prostředí.

3.2.1 Teplota a vlhkost

Tepelně vlhkostní mikroklima je složka prostředí s dominantním vlivem na jeho stav, projevující se působením tepla a vodní páry a to z vnitřních i vnějších zdrojů. Klasickým a tradičním faktorem hodnocení je tepelná pohoda. Formuje ji teplota vzduchu, teplota okolních ploch, rychlost proudění vzduchu v okolí člověka, vlhkost vzduchu, tepelně izolační vlastnosti oděvu a tělesná aktivita člověka.

Teplota je důležitá i ve vztahu k životnosti stavebních materiálů, budov, technologií apod. U pasivních domů jsou díky kvalitní izolaci obvodových stěn jejich povrchové teploty prakticky shodné s teplotou vzduchu. Rozdíl teplot v různé výšce eliminuje větrací systém, který pomalu provětrává místnost. Při použití kvalitního zasklení pak není nutné ani zbytečně zvyšovat teplotu vzduchu nad 20 °C. V Tabulce 1 jsou uvedeny doporučené hodnoty teploty vzduchu pro obytné stavby.

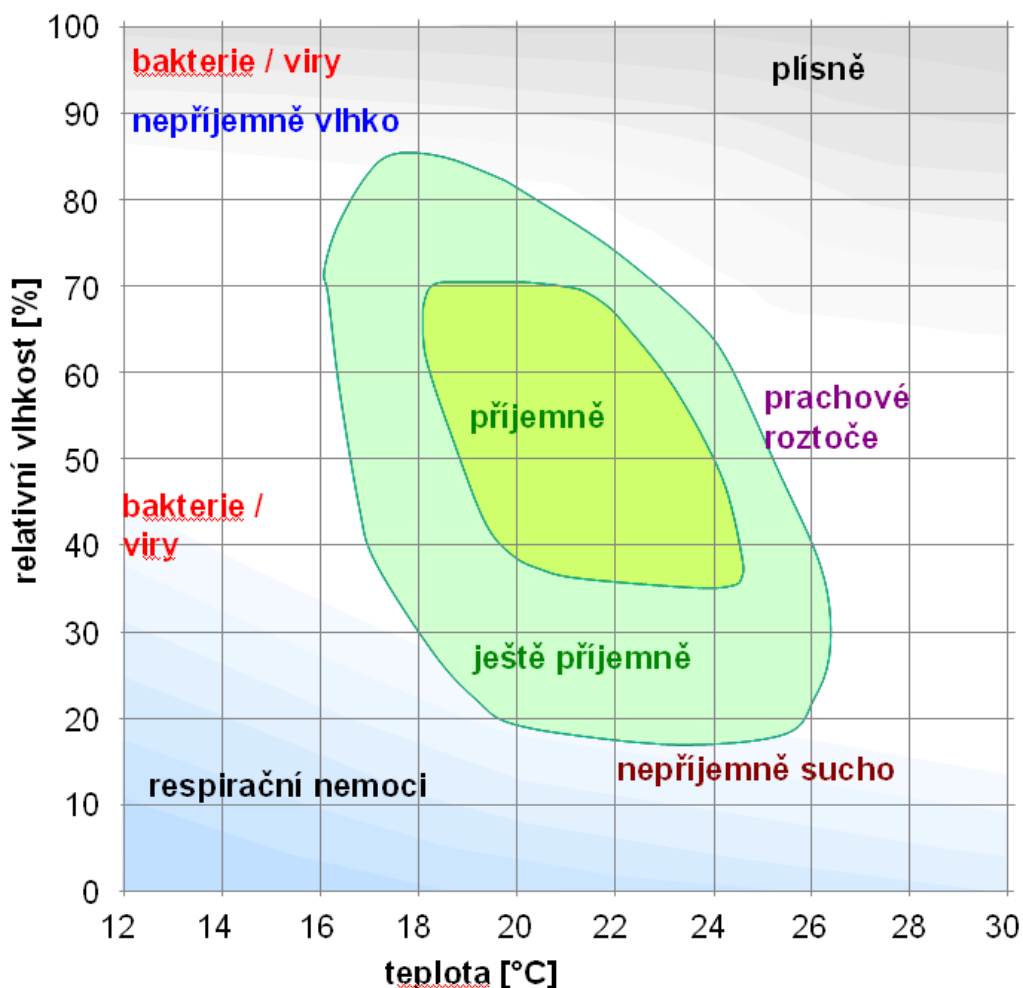
Tabulka 1 Doporučené teploty pro obytné stavby (Greener future solutions, 2013)

Parametry	topné období	letní období
operativní (výsledná) teplota vzduchu (°C)	18 – 24	20 – 28
rychlost proudění vzduchu (m/s)	≤ 0,1	0,1 – 0,2
rozdíl teplot ve výši 1,7 a 2,0 m (°C)	≤ 3	≤ 3
relativní vlhkost vzduchu (%)	40 – 60	40 – 60
teplota podlahy (°C)	19 – 28	-

Zajistit optimální teplotu nebývá složité. Větší problémy se vyskytují při dosahování vyhovující relativní vlhkosti. Vlhkost ve vnitřním prostředí je jedním z faktorů, který nedokážeme subjektivně pociťovat a hodnotit. Příznivé hodnoty pro lidský organismus se celoročně pohybují v rozmezí 30 – 60 %. Hodnoty relativní vlhkosti vnitřního vzduchu jsou stanoveny ČSN 73 0540-2 na 50 %. Diagram vlivu teploty a relativní vlhkosti na komfort a případná rizika zhoršení vnitřního prostředí nalezneme v Grafu 2.

Míru vlhkosti je nutno v obytném prostředí sledovat a upravovat - nejjednodušším způsobem je dostatečná výměna vzduchu větráním. Nepříznivý zdravotní vliv může mít snížení relativní vlhkosti v topném období na 20 % i méně, stejně jako zvýšení vlhkosti nad 60 % v ostatních ročních obdobích. Vlhkost přesahující trvale 60 % je již nebezpečným faktorem, z důvodu kondenzace vodních par na chladnějších plochách vnitřních konstrukcí a následnému vzniku plísní (Humňal, 2011).

Graf 2 Diagram vlivu teploty a relativní vlhkosti na komfort a případná rizika zhoršení vnitřního prostředí (Pasivní domy, 2013)



Celková denní produkce vodní páry může dosáhnout až více než 10 kg na jednu domácnost. Tato vlhkost může být pohlcena stavebními materiály a postupně odvětrávána vzduchotechnickým systémem. Je-li větrání omezeno, výměna vzduchu je menší než $0,1 \text{ h}^{-1}$ a relativní vlhkost vzduchu snadno stoupá nad 80 %. V těsných prostorech, jakými je již většina novostaveb, může takový případ běžně nastat (Hazucha, 2012). Hlavní zdroje vlhkosti v obytných budovách jsou zaneseny v Tabulce 2.

Tabulka 2 Produkce vlhkosti (Mathauserová, 2009)

Produkce vlhkosti	
Vodní pára – bdělé osoby	55 g/h na osobu
Vodní pára – spící osoby	40 g/h na osobu
Snídaně	50 g/h na osobu
Oběd	300 g/h na osobu
Vaření na plynu	350 g/den
Praní/sušení	1 200 g/praní
Sprchování	300 g/sprcha
4 členná rodina/den	8 – 10 kg

Ideálním řešením pro udržení přijatelné relativní vlhkosti je realizovat systém řízeného větrání a dimenzovat objem přichozího čerstvého vzduchu na 25 až 30 m³/h nebo výměnu 0,5 objemu za hodinu viz kapitola 5.2. Tím se i v zimě udrží relativní vlhkost vnitřního vzduchu v domě v příjemném rozsahu.

3.2.2 Plyny

Mezi typicky škodlivé plyny v obytných prostorech patří CO₂, vodní pára, ftaláty, těkavé organické látky, formaldehyd atd. Škodliviny se také mohou uvolňovat z nábytku, podlahových krytin nebo nátěrů. Významnými zdroji škodlivých látek jsou také různé čisticí prostředky a elektronika. Negativní účinky těchto škodlivých látek se mohou projevovat bolestmi hlavy, podrážděním očí a sliznic (Habel, 2012).

3.2.2.1 Koncentrace CO₂

Jedním z nejvíce sledovaných plynů je oxid uhličitý, jedná se o bezbarvý plyn, který nemá žádnou chuť ani zápach a běžně se vyskytuje v prostředí ať už v interiéru či exteriéru. Hodnota koncentrace CO₂ se udává v jednotkách ppm (z anglického „Parts per milion“ 1ppm = 10⁻⁴ % z objemu). Koncentrace CO₂ ve vnějším prostředí závisí na stupni osídlení ve zkoumané lokalitě, a denní době. Hodnota CO₂ v exteriéru se uvádí od 380 až do 450 ppm. V dnešní době se však hodnota 380 ppm na Zemi již nevyskytuje. Nejnižší koncentrace 385 ppm byla

naměřena na ostrově Mauna Loa na Havaji v roce 2010. Tento ostrov je reprezentantem čistého venkovního prostředí.

Hlavním zdrojem CO₂ jsou spalovací a metabolické procesy. Metabolická produkce oxidu uhličitého je definována jako funkce váhy, výšky a míry fyzické aktivity osoby. Produkované množství oxidu uhličitého člověkem se pohybuje v rozsahu cca 4 až 26 l/h na osobu. Nejvyšší hodnota odpovídá CO₂ vyprodukované dospělou osobou při vysoké fyzické zátěži a nejnižší produkci spícího dítěte.

Hodnota CO₂ je považována za jeden z nejlepších ukazatelů míry kvality a míry znečištění vnitřního prostředí v prostorech určených pro obývání lidmi. Z tohoto důvodu jsou v některých normách udávány maximální přijatelné koncentrace CO₂ jako limitující faktor pro přijatelné vnitřní prostředí, viz Tabulka 3.

Koncentraci oxidu uhličitého a průběh jejích hodnot lze stanovit výpočtem při známé počáteční koncentraci, produkci a intenzitě větrání. V dnešní době se nejčastěji používají měřicí přístroje se sondami, které přesně zaznamenají koncentraci v čase (Zmrhal, 2014).

Tabulka 3 Účinky CO₂ na lidský organismus (Mathauserová, 2009)

cca 350 ppm	úroveň venkovního prostředí
do 1 000 ppm	doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorech
1 200 – 1 500 ppm	doporučená maximální úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorech
1 500 – 2 000 ppm	nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace
2 000 – 5 000 ppm	nastávají možné bolesti hlavy
5 000 ppm	maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
> 5 000 ppm	nevolnost a zvýšený tep
> 15 000 ppm	dýchací potíže
> 40 000 ppm	možná ztráta vědomí

3.2.2.2 Toxické plyny

Mezi toxické plyny, které mají nepříznivý vliv na lidský organismus, patří zejména oxidy síry SO_x, oxid uhelnatý CO, oxidy dusíku NO_x, ozón O₃, smog, formaldehyd

a další. V nedostatečně nebo cirkulačně větraných kuchyních s plynovými spotřebiči se tvoří zvýšená až dvojnásobná koncentrace oxidu dusíku NO_2 . Oxid dusičitý přitom prokazatelně vykazuje karcinogenní účinky. Formaldehyd ve vyšší koncentraci způsobuje dráždění očí a sliznic a zároveň je také alergenem i potenciálním karcinogenem. Z ekonomického i technického hlediska je nejpříjemnějším řešením pro odstranění toxických plynů dostatečné větrání, eventuálně náročnější filtrace aktivním uhlím či ionizací vzduchu (Hazucha, 2012).

Charakteristikou jednotlivých látek se budou zabývat následující podkapitoly.

3.2.2.3 Vůně a zápachy

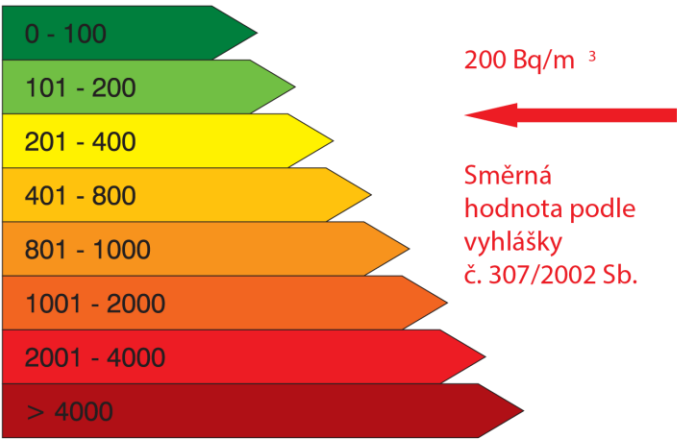

Vůně a zápachy neboli odéry jsou plynné složky ovzduší vnímané jako vůně nebo zápachy. Do interiéru budov vstupují odéry jednak z venku, jednak zevnitř a jsou produkovány člověkem nebo jeho činnostmi, případně uvolňované ze stavebních konstrukcí, interiérového vybavení, nábytku, textilií, rostlin či elektroniky. Mimo běžných odérů (kouření, příprava jídel) se v interiéru dnes vyskytují i styreny, formaldehydy, organická rozpouštědla, odpařiny z nátěrů, ftaláty a jiné. V interiéru vznikají při pobytu lidí CO_2 a tělesné pachy - antropotoxiny, které jsou obecnými indikátory kvality vnitřního vzduchu (Jokl, 2002).

3.2.2.4 Radon

Radon je plynná látka lidskými smysly nepostřehitelná, která není cítit, není vidět a při krátkodobém působení má dokonce příznivé účinky na lidské zdraví. Bohužel při dlouhodobém působení se ale radon stává nebezpečným a zdraví škodlivým. Jedná se o radioaktivní nuklid a produkt jeho přeměny, radioaktivní polonium, jenž je původcem rakovinových onemocnění, obzvláště pak rakoviny plic. Doba latence, tj. doba než se mohou začít objevovat příznaky rakoviny plic, je u tohoto typu ozáření 10 až 30 let (Hazucha, 2009).

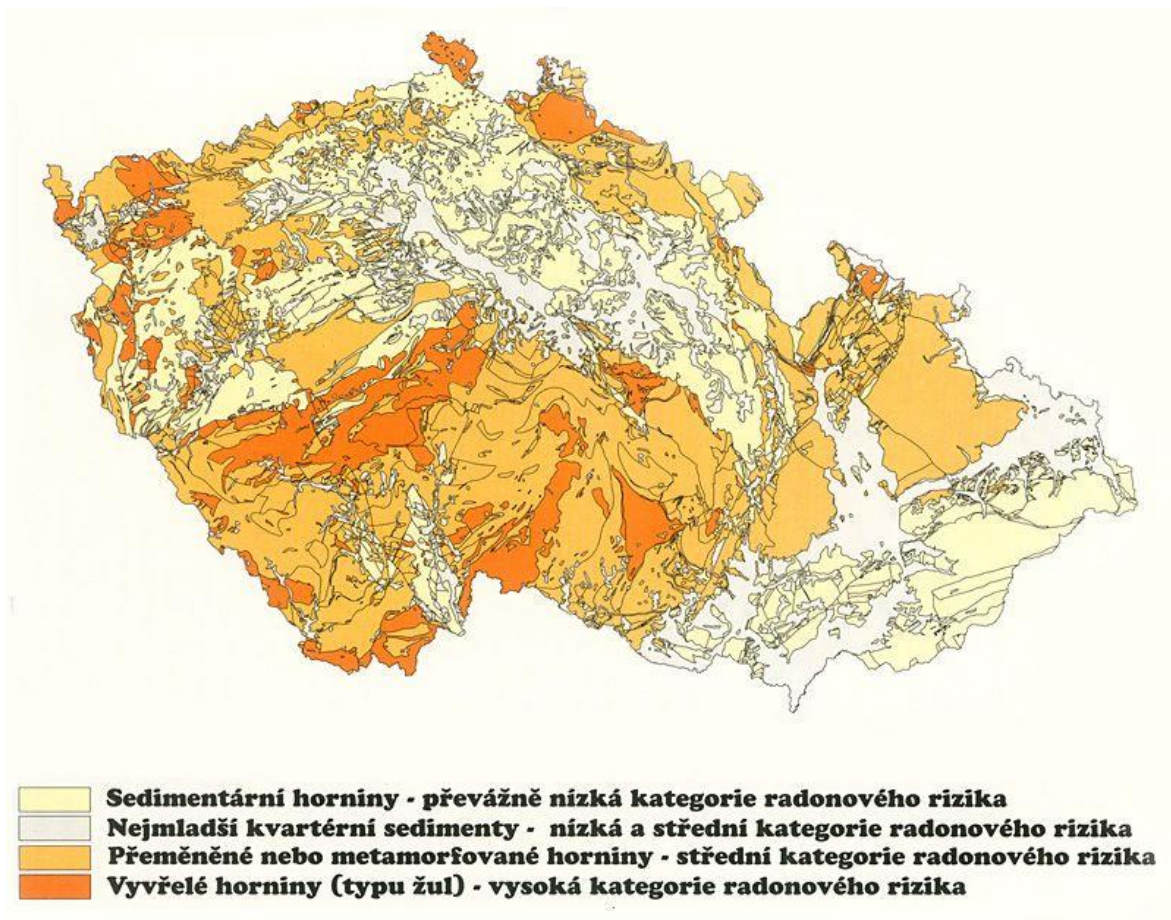
Nově byl v revidované ČSN 73 0601 zaveden také radonový štítek budovy, viz Obrázek 1. Tento štítek slouží hlavně k přehlednému porovnání průměrné hodnoty koncentrace radonu v obytných místnostech se směrnou hodnotou 200 Bq/m^3 dle vyhlášky č.307/2002 Sb. Jsou zde také uvedeny koncentrace objemové aktivity radonu jakožto rizika pro rakovinu plic. Radonový štítek má pouze

informativní funkci a lze jej aplikovat k prokázání koncentrace radonu v budově např. pro účely kolaudačního řízení. (Odehnal, 2013)

Budova (místo, ulice, číslo, PSČ):		
Kategorie OAR (Bq/m ³)	Zjištěná hodnota OAR	Zvýšení rizika rakoviny plic o
 <p>0 - 100 101 - 200 201 - 400 401 - 800 801 - 1000 1001 - 2000 2001 - 4000 > 4000</p> <p>200 Bq/m³</p> <p>Směrná hodnota podle vyhlášky č. 307/2002 Sb.</p>	 <p>154 Bq/m³</p>	<p>< 15% 15 - 30% 30 - 60% 60 - 120% 120 - 150% 150 - 300% 300 - 600% > 600%</p>
<p>OAR v budově splňuje/nesplňuje směrnou hodnotu podle vyhlášky č. 307/2002 Sb. Příkon fotonového dávkového ekvivalentu splňuje/nesplňuje směrnou hodnotu vyhlášky č. 307/2002 Sb.</p>		

Obrázek 1 Radonový štítek budovy (Odehnal, 2013)

Radon je látkou přirozeně uvolňovanou z prostředí s vyšší hustotou, což je hlavně z podloží, do vnitřního prostředí staveb. Koncentrace radonu není na celém území České republiky stejná, závisí především na podkladních horninách, viz Obrázek 2. Pokud radonu zamezíme v jeho prostupu například základovou deskou, pak se radon začne v těchto místech shromažďovat. V této situaci stačí k průniku do interiéru drobné praskliny v podlaze či základové desce. Z tohoto důvodu je nutná dobře provedená hydroizolace s dokonalým utěsněním všech prostupů. Nejúčinnější řešení radonové zátěže umožňuje přetlakově navržený systém řízeného větrání (Hazucha, 2009).



Obrázek 2 Schématická geologická mapa České republiky s mírou radonové zátěže (Radontest, 2013)

3.2.3 Mikroby

Mikrobiální mikroklima je tvořeno mikroby neboli mikroorganismy nacházejícími se v ovzduší - pyly, bakterie, viry, plísně a jejich spory. Vážným problémem se v současné době stávají alergické syndromy na spory různých druhů plísní a pylové částice. Kvalita mikrobiálního mikroklimatu se hodnotí podle akceptovatelné koncentrace mikrobů. Pro obytná prostředí činí maximálně 200 až 500 mikrobů m^{-3} a na operačních sálech maximálně 70 mikrobů m^{-3} (Doležilková, 2006).

Nositeli mikroorganismů jsou hlavně aerosoly v kapalně formě a aerosoly ve formě pevné, což je vlastně prach. Jako možnost ochrany proti mikrobům Hazucha (2009) uvádí deodorizaci vzduchu - rozprašování slabého roztoku oleje z himalájského cedru, který je účinný proti výskytu hmyzu, jakožto nejčastějšímu

přenašeči mikrobů. Antibakteriálně působí dobře také řada dalších éterických olejů (např. myrha, eukalyptus, citrus či santalové dřevo). Nejúčinnějším způsobem, pro snížení mikrobiální koncentrace v interiérech obytných budov, však stále zůstává dokonalé větrání s dostatečným přívodem kvalitního exteriérového vzduchu přes vhodné filtry.

Ve vzduchotechnických filtrech se usazují obzvláště prachové částice, ale dále pak i všechny druhy mikroorganismů. Filtrační média se musí měnit v dostatečných intervalech, v závislosti na venkovním prostředí, protože je důležité, aby se zamezilo zachyceným nečistotám vrátit se zpět do filtrovaného čistého vzduchu.

Přehledová Tabulka 4 se zabývá rozdělením tříd filtrace s příklady odlučovaných látek pro jednotlivé filtry a doporučeným používáním.

Značení jednotlivých tříd filtrace:

G - Pro hrubé zachycení prachu, jako předfiltr pro vysoké koncentrace prachu v klimatizačních zařízeních, sacích traktech, předfiltr pro jemnou filtraci.

F - II. stupeň filtrace pro odloučení jemných prachů a jako předfiltrace pro vysoce účinné filtry. Použití pro klimatizační zařízení nemocnic, hotelů, laboratoří, pro jemnou filtraci ve farmacii, elektu a fotoprůmyslu.

H a U - Absolutní filtry HEPA a ULPA pro vysoce účinnou filtraci vzduchu. Použití pro operační sály, sterilizační prostory, laboratoře, chemický, farmaceutický a potravinářský průmysl.

A - Filtry s aktivním uhlím se používají k zachycení toxických plynů a páry z rozpouštědel.

Tabulka 4 Přehledová tabulka tříd filtrace (Atrea, 2014)

Skupina filtrů	Třída filtrace	Příklady odlučovaných látek	Doporučení při používání
skupina G	G1 G2	listy hmyz textilní vlákna písek vlasy	Pouze jako předfiltry pro hrubou filtraci, např. ochrana před hmyzem. Při použití ve VZT systémech musí být doplněn o další stupeň filtrace min. G4.
	G3 G4	květný pyl mlha	Základní třída filtrace, použitelná samostatně ve VZT jednotkách. Volí se také jako předfiltr pro třídy F8 / F9.
skupina F	M5 M6 F7 F8	nahromaděné saze prach procházející plícemi cementový prach (jemná frakce)	Jemný stupeň filtrace použitelný při vyšších nárocích na kvalitu vnitřního prostředí. Předfiltry ke třídám H11 / H12.
	F9	tabákový kouř (hrubá část) bakterie olejové kouře	Jako filtry vnějších vzduchů v nemocnicích. Pro prostory s vysokým nárokem na kvalitu prostředí. Předfiltry pro třídy H13 / H14.
skupina H	H10 H11	zárodky tabákový kouř saze kouř kyslíčků kovů	Pro prostory jako jsou laboratoře, koncové filtry pro čisté prostory tříd ISO ≥ 7.
	H12 H13	olejové kouře ve stavu vzniku aerosoly – mikročástice zbytky výparů z mořské soli	Koncové filtry pro čisté prostory tříd ISO ≥ 5, pro jiné prostory s velmi vysokými požadavky na čistotu – čisté výrobní prostory.
skupina U	U15 U16 U17	aerosoly – mikročástice	Koncové filtry pro čisté prostory, superčisté prostory v lékařství, laboratorní prostory pro léčiva.
skupina A	Aktivní uhlí – neimpregnované	smogové zatížení tělesné zápachy nemocniční zápachy lehké těkavé uhlovodíky VOC výpary rozpouštědel potravinářské a hnilobné zápachy	Odstranění škodlivých plynů, při vysoké smogové zátěži. Vhodné pro odloučení zápachů v obytných prostorech, kancelářích, hotelích apod.

3.2.4 Prašnost

Prach v domě, především biologické částice s velikostí pod 1 mikrometr, je hlavní příčinou astmatických problémů. Při teplotě vzduchu nad 55 °C dochází k rozpadu prachových částic. Problém vzniká u teplovzdušného vytápění, kde nesmí být tato teplota překračována. Významný vliv na prašnost v interiéru může mít i užití vhodného stupně filtrace u vzduchotechnických systémů. Za vhodné se považují filtry třídy F7, kde jsou zachycovány prachové částice o velikosti 1 mikrometru s účinností až 87 %. Například u filtrů G4 je účinnost pouze 6 % zachycených částic viz Tabulka 4. Důležitá je i pravidelná výměna filtrů, ke které by mělo docházet nejméně 2x ročně, v městských oblastech dokonce až 4x ročně a to ne pouze při silném mechanickém znečištění.

Na snadnou čistitelnost by mělo být myšleno již při samotném návrhu rozvodů vzduchotechniky. Dle Hazuchy (2009) nejsou klasické ohebné hadice s harmonikovým vnitřkem, tzv. sonoflex z tohoto pohledu příliš vhodné. Nejvhodnější jsou rozvody pevné, které umožňují potřebnou čistitelnost.

3.2.5 Akustika

Akustická pohoda v interiéru budov je ovlivněna vnějšími a vnitřními zdroji hluku. Ochranu proti jejich působení nám poskytuje obvodový plášť budovy. Tyto tlumící vlastnosti konstrukce nazýváme vzduchovou neprůzvučností nebo kročejovou neprůzvučností, záleží na tom, zda je tlumený zvuk vyzařován do vzduchu např. hlas, hudba nebo zda jde o zvuk způsobovaný dotykem předmětů s konstrukcí např. chůze, padání předmětů, přesuny nábytku.

Respektování hygienických limitů hlukového zatížení v interiérových prostorech respektive ve venkovním prostředí je jedním z hlavních atributů souboru životního prostředí. Je třeba si uvědomit, že základy akustických parametrů vychází z medicínského průzkumu vlivu hluku na lidský organismus. Vaverka (2008) uvádí, že až 40 % obyvatel EU žije v prostředí, kde hlukové zatížení dosahuje vyšší míry než 40 dB, dále 20 % obyvatel v prostředí vyšším než 60 dB. Tyto zásadní atributy se významně spolupodílejí na zdravotním stavu obyvatelstva, právě proto je důležité dodržovat limity hluku tlumením jejich zdrojů.

Z hlediska útlumu hluku jsou na tom nejlépe masivní hmotné konstrukce. I v dřevostavbách však lze vhodně zvolenou lehkou konstrukcí dosáhnout srovnatelných požadovaných výsledků. U staveb na bázi dřeva můžeme kýžených výsledků dosáhnout zvolením vhodných materiálů, jako jsou sádkartonové či sádrovláknité desky s vyšší mírou akustického útlumu, dále pak dřevovláknité izolace, podlahové desky na útlum kročejových přeslechů, případně akustické vnitřní omítky, zděné příčky nebo těžké podlahy na bázi anhydridu nebo betonu. Velkého pokroku v oblasti boje proti hluku se stavby dočkaly také díky vylepšeným konstrukčním metodám dveří, oken a jejich kování, posuvů a zdokonalením montážních spojů. Veškerá tato zlepšení podporují kvalitní zvukově izolační vlastnosti nejen u dřevostaveb, ale ve všech obytných prostorech.

I systémy nuceného větrání mohou z velké části napomoci potlačení pronikání exteriérového hluku do vnitřního prostředí obytných domů. Nucené větrání zásobuje vnitřní prostředí čerstvým filtrovaným vzduchem nejen v topném období a to bez nutnosti otvírání oken. Zdrojem vnitřního hluku však může být i samotná větrací jednotka, proto se tento parametr dostává do popředí při jejím výběru. Maximální přípustné hodnoty akustického tlaku v obytných místnostech jsou do 25 dB a v technické místnosti do 35 dB. Velice důležitým faktorem z akustického hlediska je také samotný návrh celého systému. Zamýšlíme se nad umístěním větrací jednotky, nejlépe co nejdále od ložnic, dále preferujeme návrh rozvodů vzduchu s použitím tlumičů a v neposlední řadě vhodný výběr materiálu samotných rozvodů, aby nedocházelo k přeslechům mezi jednotlivými místnostmi (Hazucha, 2009).

3.2.6 Osvětlení

Světlo je podstatným faktorem ovlivňujícím podmínky zrakového vnímání, který ale také významným podílem přispívá k vytváření celkového duševního klidu a pohody u uživatelů prostoru. Kvalitní světlostí se zvedá produktivita práce. V případě obytných prostorů má světlo podíl na výrazně rychlejší a dokonalejší fyzické a psychické obnově organismu. Nedostatečně osvětlená místa pro práci naopak navozují únavu. Po nějaké době strávené v prostředí s nekvalitním osvětlením se mohou dostavit bolesti hlavy, pálení očí a další zdravotní problémy.

Základními typy osvětlení jsou denní, sdružené a umělé osvětlení. Nejvhodnější návrhy osvětlení interiérů mají snahu skloubit co nejlepší prosvětlení míst přirozeným denním osvětlením a zároveň zabránit nadměrnému přehřívání interiéru. Splnění těchto potřeb je v mnohých situacích problematické. Ve většině případů se k těmto účelům využívají speciální softwary, které optimalizují osvětlení a modelují i tepelné chování objektů. Legislativně upravuje požadavky na osvětlení norma ČSN 73 0580.

K zajištění denního osvětlení budovy slouží všechny prosklené části obvodového pláště tj. okna, balkónové dveře, prosklené stěny apod. Sklo díky svým vlastnostem průhlednosti a průsvitnosti zajišťuje především pronikání denního světla do interiéru. Další funkcí prosklených částí obvodového pláště je vizuální spojení s exteriérem (Mareček, 2007). Nicméně v těchto případech může docházet k nežádoucímu přehřívání takto osvětlených prostorů v letním období. Doporučené velikosti prosklení bez instalovaného stínění by se měly pohybovat okolo 1/6, maximálně ovšem 1/4 z obytné plochy prosvětlované místnosti. Tyto doporučené návrhové velikosti napomáhají k vyrovnanějšímu chování objektu v letním i zimním období.

3.3 Ekonomické požadavky

V současné době často vítězí potřeba snižování energetické náročnosti budov za každou cenu, což vede k řešením, která nejsou z hlediska zachování kvalitního vnitřního prostředí v obytných prostorech dostačující. Především jde o zateplování fasád a výměnu oken. Těmito stavebními úpravami dochází k celkovému uzavření obálky domů. Problémem se však stává zachování stávajícího systému větrání, který je v tuto chvíli nedostatečný až dokonce nefunkční. Pro dosažení požadované kvality vnitřního prostředí je nutné použít řízené větrání, což vede ke spotřebě energie pro jeho dopravu a ohřev.

Logickou snahou je tuto spotřebu energie co nejvíce minimalizovat, k čemuž se dají použít různá řešení. V dnešní době nízkoenergetických, pasivních či nulových domů s těsnou obálkou se tato problematika dostává do popředí. V těchto stavbách, ale i v rekonstrukcích se tedy instalují energeticky úsporná řešení v podobě nuceného větrání se zpětným získáním tepla (Zmrhal, 2014).

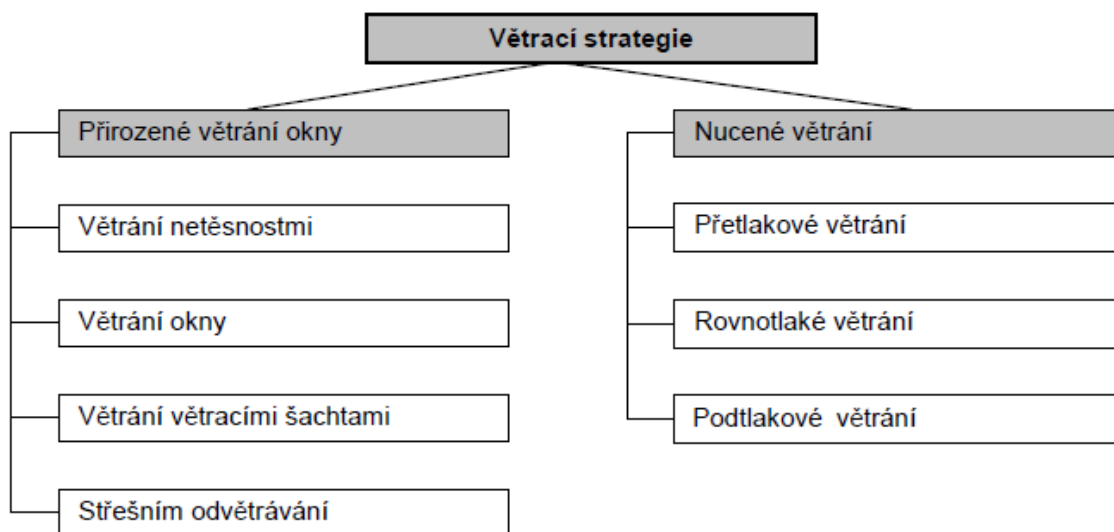
Dle Laina (2009) je při posuzování prosté návratnosti investice do systému větrání s rekuperací tepla třeba vyhodnotit cenu roční úspory energie a snížit ji o cenu energie, kterou spotřebovalo vlastní zařízení. Takto upravená snížená úspora se poté porovná s vlastními investičními náklady a určí se výhodnost pořízení takového zařízení z ekonomického hlediska. Ideální návratnost by se měla pohybovat do 10 ti let provozu zařízení. Z hlediska uživatelského komfortu a energetické úspory se tyto vzduchotechnické systémy s rekuperací tepla jistě vyplatí.

4. Základní druhy větrání

Základním kritériem pro vnitřní prostředí obytných budov je dostatečný přívod čerstvého vzduchu v dostatečném množství a také v odpovídajícím kvalitním složení, při nepřekročení limitů hluku dle aktuálních předpisů. Jednou z nejdůležitějších funkcí větrání je odvod škodlivin – nejrůznějších plynných látek, pachů, organických a anorganických sloučenin, vlhka, tepla nebo chladu (Veselý, Mikš, 2012).

4.1 Základní druhy větrání

Nejzákladnější rozdělení větracích strategií je dle Obrázku 3 na přirozené větrání okny a nucené větrání. U nuceného větrání je větrání zajištěno instalací technologií. Dalším rozdělením těchto větracích strategií se budeme zabývat v následujících kapitolách.



Obrázek 3 Rozdělení větracích strategií (Hazucha, Bárta, 2010)

4.1.1 Přirozené větrání

Přirozené větrání je nejjednodušším způsobem. Větrá se tak okny, infiltrací, střešními světlíky nebo šachtami. U tohoto typu větrání je zajištěn pohyb vzduchu rozdílnými měrnými hmotnostmi studeného a teplého vzduchu. Tyto hnací síly se v čase značně mění a regulovat intenzitu výměny vzduchu je tedy obtížné.

Z ekonomického hlediska je tento způsob velmi nevhodný, protože se vždy celý objem vzduchu musí znovu ohřát nebo případně vychladit na požadovanou úroveň (Veselý, Mikš, 2012).

Přirozené větrání dělíme na:

- Větrání netěsnostmi
- Větrání okny
- Větrání větracími šachtami
- Střešní odvětrávání

Šachtové větrání a střešní odvětrávání se u běžných rodinných domů nepoužívá. Vzhledem k tomuto faktu a vzhledem k tématu diplomové práce se již těmito druhy větrání práce nebude dále zabývat.

4.1.1.1 Větrání netěsnostmi

K větrání netěsnostmi neboli infiltraci dochází díky rozdílům mezi vnitřními a vnějšími tlaky prostředí, kvůli kterým proniká vzduch netěsnostmi oken, dveří, či póry stěn a různými dalšími netěsnostmi v obvodových konstrukcích. Velikost tlakových rozdílů je závislá především na klimatických podmínkách, jelikož interiérová teplota je během roku téměř konstantní. K nejvýznamnější a z energetického hlediska nejpodstatnější infiltraci dochází v zimním období (Hrbata, 2011).

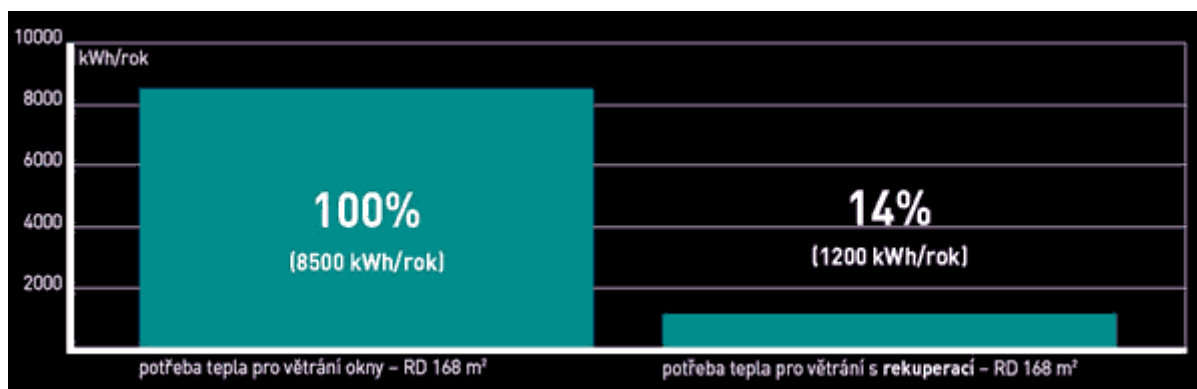
Pro zamezení unikání drahocenného tepla z objektu jsou dnes rodinné domy často osazovány velmi dobře těsnícími okny a zateplenými fasádami, které jsou taktéž velmi dobře utěsněny. Jak již bylo zmiňováno dříve, díky kvalitnějším oknům a dveřím je zamezeno přirozené infiltraci, která vede k nedostatečné výměně vzduchu a tedy i ke snížení kvality vnitřního prostředí. Pokud stavba není vybavena systémem řízeného větrání, jsou obyvatelé nuceni větrat manuálně tedy okny. Tomuto typu větrání se práce bude věnovat v následující podkapitole.

4.1.1.2 Větrání okny

U rodinných domů je právě větrání okny bohužel nejčastějším řešením výměny vzduchu. Množství přivedeného vzduchu je ovlivněno mírou otevření okna a tlakových rozdílů exteriéru a interiéru stejně jako u větrání netěsnostmi. Nejvýhodnější z energetického hlediska se jeví častější otevírání celého okna na krátké časové intervaly než naopak. V letním období, kdy není rozdíl teplot takový je nutné intervaly otevření oken prodloužit. Výrobci moderních okenních systémů umožňují okna nastavit také na tzv. mikroventilaci. V praxi mikroventilace znamená vlastně infiltraci řízenou přímo uživatelem díky neúplnému dosednutí okna těsněním na rám. Paradoxně tak dochází k větrání velmi podobnému původnímu větrání netěsnostmi u méně kvalitních oken, ne však v takové míře.

Vnikání čerstvého vzduchu, který není nijak upravený, vede k narušení tepelné pohody uvnitř budovy a tím k dalším nákladům na vytápění, popřípadě klimatizaci, vzhledem k aktuálnímu ročnímu období. Tento způsob větrání má také další neopomenutelné nevýhody jakými jsou zejména vnik nečistot, hmyzu a hluku do interiéru. U větrání okny nelze instalovat filtry či tlumiče hluku. Jedinou možností jsou nekomfortní a uživatelsky většinou nevýhodné sítě proti hmyzu. Tento způsob větrání je z energetického pohledu nevhodný, protože neumožňuje rekuperaci tepelné energie (Hrbata, 2011).

Na Obrázku 4 je zobrazeno porovnání potřeby tepla na rok pro větrání rodinného domu o podlahové ploše 168 m², při dodržení hygienické podmínky výměny vzduchu 0,5 objemu domu za hodinu.



Obrázek 4 Porovnání potřeby tepla při větrání okny a s rekuperací (Paul, 2007)

4.1.2 Nucené větrání

Pro zajištění náležité kvality vnitřního prostředí v obytných domech a zároveň snížení tepelných ztrát větráním, je zapotřebí dobře navržený, namontovaný a zregulovaný systém řízeného větrání s rekuperační jednotkou, která má vysokou účinnost a nízkou energetickou náročnost. Větrací jednotky bez rekuperace tepla, či systémy řízeného větrání, které pouze přivádějí čerstvý vzduch nebo naopak odvádějí odpadní vzduch, jsou z pohledu energetických a hygienických standardů či uživatelského komfortu nevyhovující a jejich realizace se v dnešní době již nedoporučuje.

Nejideálnějším řešením je centrální rekuperační jednotka umístěná například v technické místnosti. Z rekuperační jednotky je upravený vzduch distribuován rozvody vzduchu do obytných místností. Vzduch putuje přes větrací otvory ve dveřích či ve stěně do provozních prostorů, kterými jsou např. kuchyně, koupelna atd. Odtud je znečištěný vzduch odváděn zpět do centrální jednotky. Ve výměníku tepla, dochází k odevzdání energie – tepla (příp. vlhkosti) nově příchozímu vzduchu.

U rekonstrukcí se kvůli jednoduchosti instalace a nenutnosti větších zásahů do stávajícího interiéru volí často decentrální řešení samostatnými jednotkami pro každou místnost či byt (Hazucha, Bárta, 2010).

Volba koncepce větrání se odvíjí od více parametrů, zejména s ohledem na požadavky a určení obytných prostor.

4.1.2.1 Přetlakové větrání

Přetlakové větrání je takový systém, kdy je množství přiváděného vzduchu vyšší, než množství, které je odváděno. Tento způsob větrání se využívá hlavně v prostorech, kde je třeba zabránit infiltraci neupraveného vzduchu z okolí. Příkladem takových prostorů jsou výpočetní střediska, operační sály a klimaticky náročná výroba. Velký přínos má tento způsob větrání při boji s radonovou zátěží v objektech.

4.1.2.2 Rovnotlaké větrání

Je nejčastějším způsobem větrání v nízkoenergetické výstavbě. Množství čerstvě přichozího i odváděného vzduchu je stejné, právě díky tomu nevzniká v objektu podtlak ani přetlak, protože ventilátory jsou nastaveny na stejný výkon. Právě rovnotlaké větrání je vhodné pro dnes již tak dokonale utěsněné obálky novostaveb či po rekonstrukcích domů. Pro využití systémů pro zpětný zisk tepla je právě tento typ větrání nejideálnější.

4.1.2.3 Podtlakové větrání

Systém podtlakového větrání je využíván hlavně v prostorech odkud je potřeba odvést zde vznikající škodliviny, jelikož chceme předejít jejich rozšíření do okolních místností. Klasickým případem jsou odsávací systémy např. v koupelnách, kuchyních a na toaletách (Krejčí, 2009).

4.2 Vstupní fyzikální veličiny

4.2.1 Oxid uhličitý CO₂

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, který je tvořen jedním atomem uhlíku a dvěma atomy kyslíku. Při ochlazení pod $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ plynný CO₂ mění své skupenství na tuhou látku. Oxid uhličitý má asi 1,5x vyšší hustotu než vzduch, ve vyšších koncentracích má tendenci se hromadit při zemi. Je dobře rozpustný ve vodě, přičemž se zčásti (asi z 0,003 %) slučuje s vodou na kyselinu uhličitou. Jedná se o nehořlavou látku a z chemického hlediska je velmi stabilní. CO₂ je nejběžnější škodlivinou uvnitř obytných domů a budov. Zdrojem této látky je především člověk, jeho metabolismus, dýchací a termoregulační pochody. Počet přítomných osob, velikost prostoru a nedostatečné větrání jsou hlavní příčinou zvyšování koncentrace oxidu uhličitého (Krejsová, 2013).

Hodnota koncentrace CO₂ se udává v jednotkách ppm (z anglického „Parts per milion“).

4.2.2 Teplota

Teplota je veličinou charakterizující, zda dané látky při svém tepelném kontaktu budou, respektive nebudou v tepelné rovnováze. Teplota látek také určuje, která z látek bude či nebude předávat či přijímat teplo. Teplota je v kvalitě prostředí velice významnou veličinou, viz kapitola 3.2.1. Je využívána při mikroklimatickém hodnocení vnitřního prostředí. Pro měření teploty se používá teplotní stupnice, její hodnota se nejčastěji udává pomocí Celsiovy teplotní stupnice, která má jednotku °C.

4.2.3 Relativní vlhkost vzduchu

Relativní vlhkost vzduchu signalizuje okamžitý poměr mezi množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím vodních par, které by byly ve vzduchu při maximálním nasycení o stejné teplotě a tlaku. Příznivé hodnoty pro lidský organismus se celoročně pohybují v rozmezí 30 – 60 %, více v kapitole 3.2.1. Tato fyzikální veličina se udává v procentech (%).

4.2.4 Atmosférický tlak

Atmosféra tvoří vzdušný obal Země, který má svojí vlastní hmotnost. Celková hmotnost atmosféry Země je cca 5,157 tisíců tun. Tato hmotnost působí svou tíhovou silou kolmo na Zemi a způsobuje tak tlak. Tento tlak působící na zemi označujeme jako atmosférický. Jednotkou tlaku je pascal (Pa), častěji se však používá hektopascal (hPa = 100 Pa) (Krejsová, 2013). V České republice je průměrný tlak vzduchu 981 hPa. Průměrný tlak na hladině moře je 1014 hPa.

5. Řešení vnitřní kvality prostředí u RD

V této kapitole se práce zabývá systémem nuceného větrání se zpětným ziskem tepla pro rodinné domy z hlediska jeho návrhu, praktické realizace, možných materiálových variant k realizaci rozvodů vzduchu a v neposlední řadě legislativních předpisů.

5.1 Návrh systému řízeného větrání

Se systémem řízeného větrání do novostaveb rodinných domů je potřeba počítat již v projektové fázi, kdy uvažujeme nad prostorem pro rekuperační jednotku a to ideálně v technické místnosti. Některé jednotky umožňují instalaci např. i do nezateplených půdních prostorů, nebo do podhledů v horizontální poloze. Rozměry rekuperačních jednotek pro rodinné domy dosahují maximálně velikosti ledničky. Dále je nutné zajistit dostatečný instalační prostor pro vedení vzduchovodů, ať již v podhledech, kročejové izolaci podlahy, izolaci půdy, izolaci střechy, nebo v sádkartonových kastlíkách. V jednotlivých místnostech jsou umístěny přívodní nebo odtahové ventily či mřížky.

Přívod čerstvého a odvod odpadního vzduchu se nejčastěji realizuje přes obvodovou konstrukci domu. U výfukového otvoru je důležité osadit fasádní mřížku s okapovým koncem z důvodu kondenzace v zimním období. Další variantou, jak můžeme vést potrubí do exteriéru, je realizovat jej skrz střešní konstrukci pomocí střešních komínků, nebo umístění do podbití střechy. Přívod čerstvého vzduchu je vhodné realizovat přes zemní registr, kde se předeheřeje před vstupem do jednotky. Tento způsob chrání jednotku v zimním období před zamrznutím a v létě ji naopak chladí.

5.1.1 Příklady materiálů pro rozvody vzduchu

V dnešní době jsou na trhu k dostání různé typy i materiály pro rozvody vzduchu. Pro představu je zde uvedeno pět základních vedení i s potřebným instalačním prostorem pro jejich realizaci.

5.1.1.1 Tepelně izolované ohebné hliníkové hadice

Tepelně a hlukově izolovaná ohebná hliníková hadice s mikroperforací, viz Obrázek 5, je ideální pro vedení nad SDK podhledem s instalačním prostorem cca 18 cm nebo ve špatně přístupných prostorách a na půdě. Tepelnou izolaci tvoří minerální vata, která je chráněna polyesterovým návlekm, který zamezí vniknutí izolačních vláken do potrubí. Vnější vrstvu tvoří hliníková laminátová fólie, která zároveň slouží jako ochrana proti poškození hadice.

5.1.1.2 Ploché plastové potrubí

Stavebnicový systém plastového potrubí o výšce 60 mm lze ideálně umístit do podhledu s potřebou malého instalačního prostoru. Toto vedení je zobrazeno na Obrázku 6.

5.1.1.3 Ploché plechové potrubí

Plechové potrubí je vhodné jak do podhledu, kde je zapotřebí instalační prostor cca 60 mm, tak i do podlahy kde je umístěno v kročejové izolaci pod anhydritem a podlahovým topením. Potrubí je odolné na případné mechanické poškození viz Obrázek 7.

5.1.1.4 Spiro potrubí

Spirálně vinuté potrubí Spiro, zobrazené na Obrázku 8, je vyrobeno z pozinkovaného plechu. Potrubí je určeno pro rozvody vzduchu v instalačním prostoru nad SDK, kde je zavěšené. Potrubí se vyrábí v různých průměrech. Je možné jej izolovat izolačním návlekm.

5.1.1.5 ED Flex

Ohebná hadice ED Flex o průměru 75 mm je určena pro distribuci vzduchu do všech místností, viz Obrázek 9. Při vedení v podhledu je zapotřebí instalační prostor cca 80 mm. Případně je možné vést rozvody v podlaze či izolaci střechy, kde je potřebná instalační výška 100 mm. Hladký vnitřní povrch usnadňuje případné čištění. Toto potrubí může být opatřeno vnitřní antibakteriální úpravou.



Obrázek 5 Tepelně izolované ohebné hliníkové hadice (Multi-Vac, 2013)



Obrázek 6 Ploché plastové potrubí (Elektrodesign, 2013)



Obrázek 7 Ploché plechové potrubí (Elektrodesign, 2013)



Obrázek 8 Spiro potrubí (Multi-Vac, 2013)

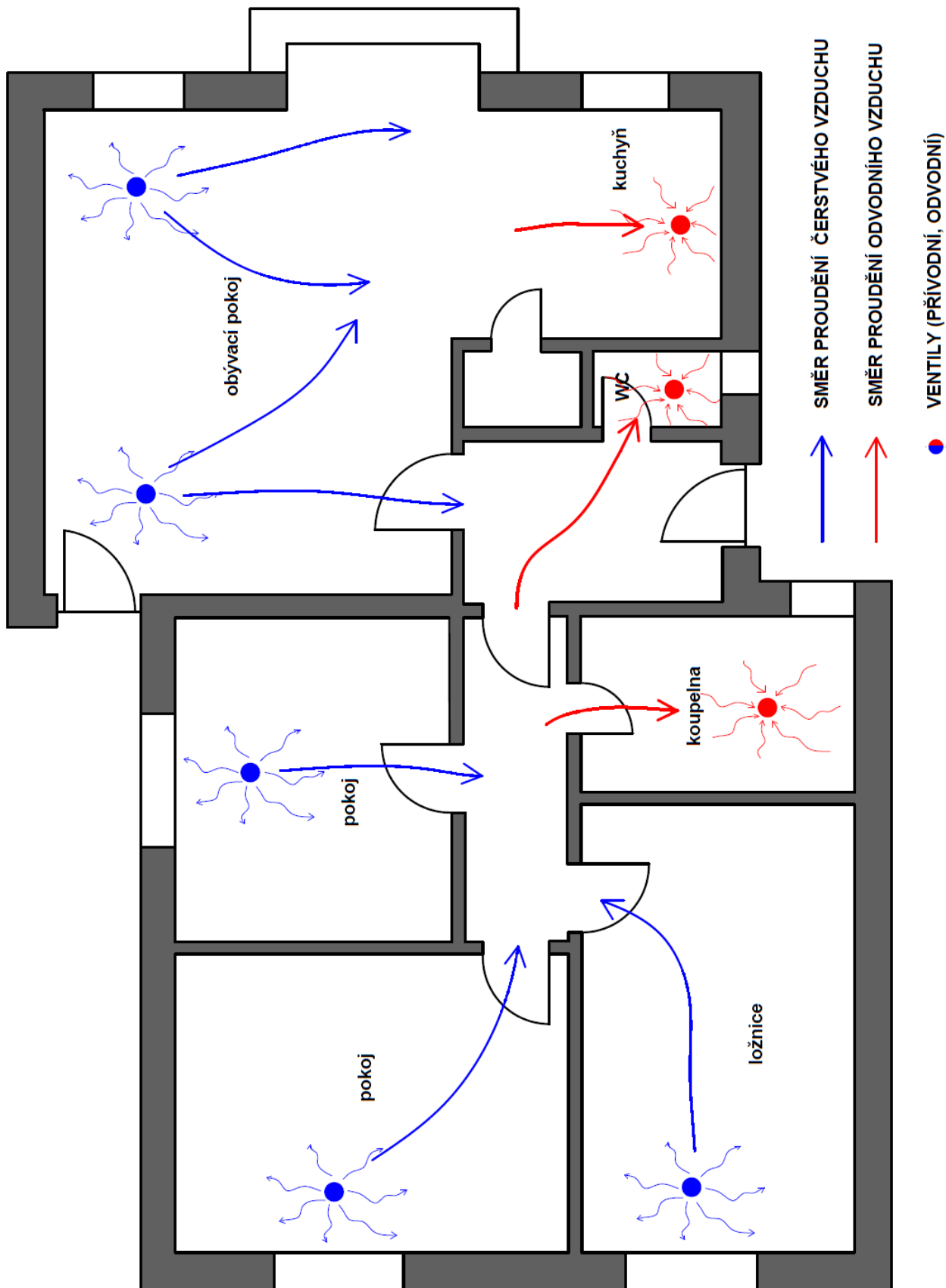


Obrázek 9 ED Flex (Elektrodesign, 2013)

5.1.2 Příklad návrhu řízeného větrání

Pro návrh vzduchovodů mohou být použity návrhové softwary. Tyto programy jsou schopny určit jednotku o dostatečné kapacitě, vypočítat množství vedení do jednotlivých místností a určit počet vzduchových ventilů. V návrhu musí být zaručena dimenze rekuperační jednotky a rozvodů tak, aby splňovaly požadavky norem na větrání obytných prostor. Více k tomuto tématu v následujících kapitolách.

Nejideálnější variantou umístění samotných ventilů pro přívod čerstvého i odtah znečištěného vzduchu pasivních rekuperačních systémů je na stropě, viz Obrázek 10. Je to dáno fyzikálními zákonitostmi, kdy má přiváděný vzduch nižší teplotu než vzduch v místnosti, vzduch tedy klesá. Přívodní ventily se umísťují do obytných místností 500 mm od středu okna, aby docházelo k tzv. omývání a zabránilo se tím rosení. Naopak odtahové ventily se instalují na střed místností jako je koupelna, kuchyň a WC. Díky mezerám pod dveřmi (min. 8 mm) čerstvý vzduch při cestě k odtahovému ventilu provětrá dokonale celý objem větraného objektu.



Obrázek 10 Schéma cirkulace vzduchu v RD (ThermWet, 2009)

5.2 Množství větracího vzduchu

Jak již bylo dříve zmíněno základní škodlivinou v obytných domech je oxid uhličitý CO_2 . K udržení CO_2 na přijatelných hodnotách můžeme při návrhu větrání vycházet z množství venkovního vzduchu, které připadá na jednu osobu za hodinu. Pro výpočet potřebného objemu nově příchozího vzduchu jsou uvažovány škodliviny, jejichž produkce je obecně známá a lze je fyzikálně popsat, to znamená produkce vlhkosti, spotřeba kyslíku a produkce oxidu uhličitého (Doležilková, 2006).

Minimální množství výměny vzduchu na osobu je $15 - 25 \text{ m}^3/\text{h}$ v závislosti na aktivitě člověka. Tato hodnota je stanovena na základě produkce CO_2 člověkem a požadována Vyhláškou Ministerstva pro místní rozvoj č. 20/2012 Sb. více v následující kapitole. Množství $15 - 25 \text{ m}^3/\text{h}$ je hygienické minimum, pod které by hodnota přiváděného vzduchu neměla klesnout. Pro potřebnou tepelně vlhkostní i odérovou pohodu by se objem příchozího vzduchu měl dostat i na hodnotu vyšší. V obytných prostorech totiž kromě vlhkosti a CO_2 vzniká a do vzduchu je uvolňována i řada dalších chemických látek a odérů. Z těchto důvodů bychom měli požadovat přívod minimálně $30 \text{ m}^3/\text{h}$ větracího vzduchu na osobu. V rozsahu 15 až $30 \text{ m}^3/\text{h}$ větracího vzduchu na osobu se většinou pohybují i zahraniční požadavky na větrání obytných prostor (Zmrhal, Drkal, 2010).

5.3 Požadavky na větrání z vyhlášky

Dle Vyhlášky Ministerstva pro místní rozvoj č. 20/2012 Sb. musí být v obytných místnostech zajištěno v době pobytu osob minimální množství nově příchozího čerstvého vzduchu $25 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobu, nebo minimální intenzita větrání $0,5$ objemu vzduchu větraného prostoru za hodinu. Jako ukazatel kvality vnitřního prostředí slouží množství oxidu uhličitého CO_2 , jehož koncentrace ve vnitřním vzduchu nesmí překročit hodnotu $1\,500 \text{ ppm}$.

5.4 Požadavky na větrání z normě

V normě ČSN EN 15665/Z1 2011 se uvádí: Větrání obytných budov musí zajistit odvod vzduchu z místností se zdrojem znečišťujících látek (pachy, vlhkost, látky vznikající při vaření, apod.) tj. především z hygienického zázemí a kuchyně.

Průtok odváděného vzduchu při trvalém větrání odpovídá průtoku přiváděného vzduchu stanoveného podle požadavku na intenzitu větrání, viz Tabulka 5. Při doporučeném odvodu vzduchu z kuchyně odpovídá průtok odváděného vzduchu průtoku přiváděnému. Vzduch z obytných místností se doporučuje odvádět přes hygienické zázemí. Poměr průtoků odváděného vzduchu z WC a koupelny se doporučuje v poměru 1:2.

Tabulka 5 Požadavky na větrání objektu (ČSN EN 15665/Z1, 2011)

	Trvalé větrání		Nárazové větrání		
	(průtok venkovního vzduchu)		(průtok odsávaného vzduchu)		
Požadavek	Intenzita větrání	Dávka venkovního vzduchu na osobu	Kuchyně	Koupelny	WC
	[h ⁻¹]	[m ³ /(h.os)]	[m ³]	[m ³]	[m ³]
Minimální hodnota	0,3	15	100	50	25
Doporučená hodnota	0,5	25	150	90	90

Pro intenzivní větrání hygienického zázemí a kuchyní slouží nárazové odsávání podle požadavků uvedených v Tabulce 5. Odsátý vzduch je hrazen buď přísáváním větracími otvory, nebo zvýšeným přívodem vzduchu větrací jednotkou (ČSN EN 15665/Z1, 2011).

6. Rekuperační jednotky a výměníky pro RD

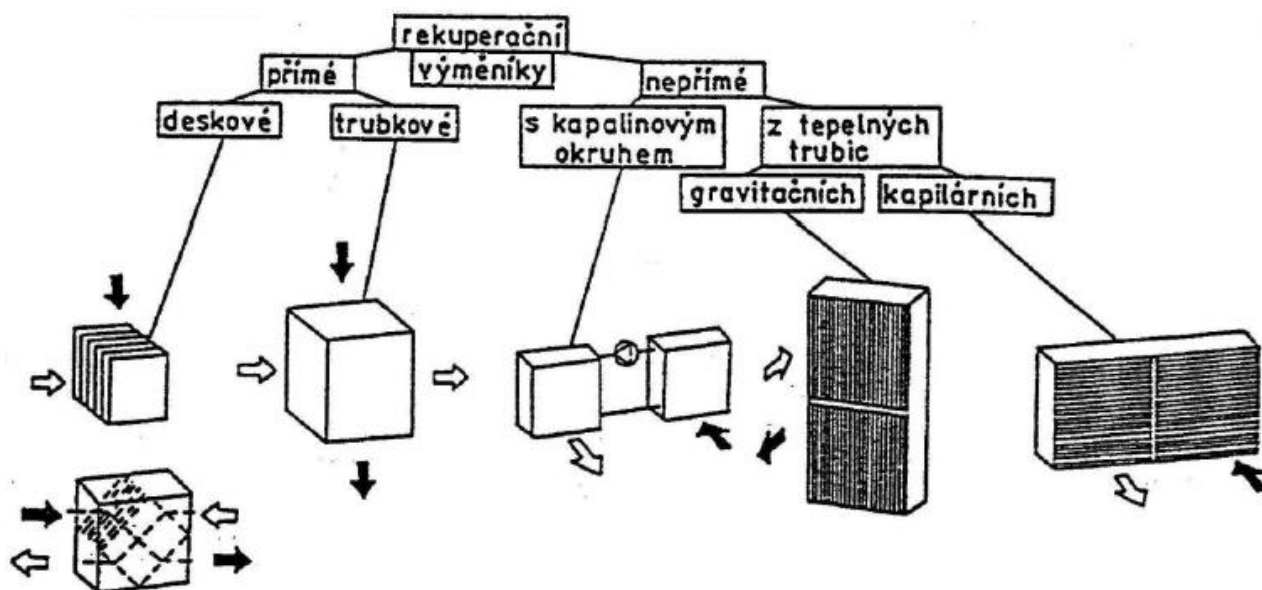
V dobře zateplené stavbě, která má dokonale utěsněný obvodový plášť včetně výplní otvorů, již není proveditelné zajistit hygienicky předepsané výměny vzduchu v obytných místnostech pouze přirozeným větráním. Jediným možným řešením i s ohledem na ekonomickou stránku je řízené větrání se zpětným ziskem tepla. Princip takového systému je jednoduchý – do interiéru je přiváděn čerstvý vzduch z exteriéru přes filtry a rekuperační jednotku do jednotlivých místností. Naopak znečištěný vzduch je odváděn z interiéru přes rekuperační jednotku, kde předá svou tepelnou energii nově příchozímu vzduchu.

Primárním posláním rekuperační jednotky je zlepšení a udržení vnitřního klimatu na požadované úrovni (zejména hodnota CO₂, vlhkost, zamezení plísním, zápachu a jiným škodlivinám) dále také předání tepelné energie odpadního vzduchu nově příchozímu. Objem přiváděného vzduchu do jednotlivých místností se liší dle jejich využití a typologického druhu stavby. Návrh centrálního systému vychází z uživatelských potřeb a parametrů stavby. Dnes rozdělujeme systémy na lokální, decentrální a centrální. Od vybraného řešení se dále odvíjí ekonomičnost návrhu, míra individuální možnosti regulace, údržba i pozdější servis (Smola, 2012).

6.1 Rozdělení výměníků

Dnešní systémy pro zpětné získávání tepelné energie z odvětrávaného vzduchu zahrnují širokou škálu výměníků. Kategorie výměníků, kde energie odváděného vzduchu slouží pro předehřev nově příchozího čerstvého vzduchu, se podle Ashrae uvádí jako „Comfort to comfort“. Přehled nejčastěji používaných rekuperačních výměníků je na Obrázku 11 (Kulhánek, 2012).

Tato práce se zaměří především na přímé rekuperační výměníky pro rodinné domy.



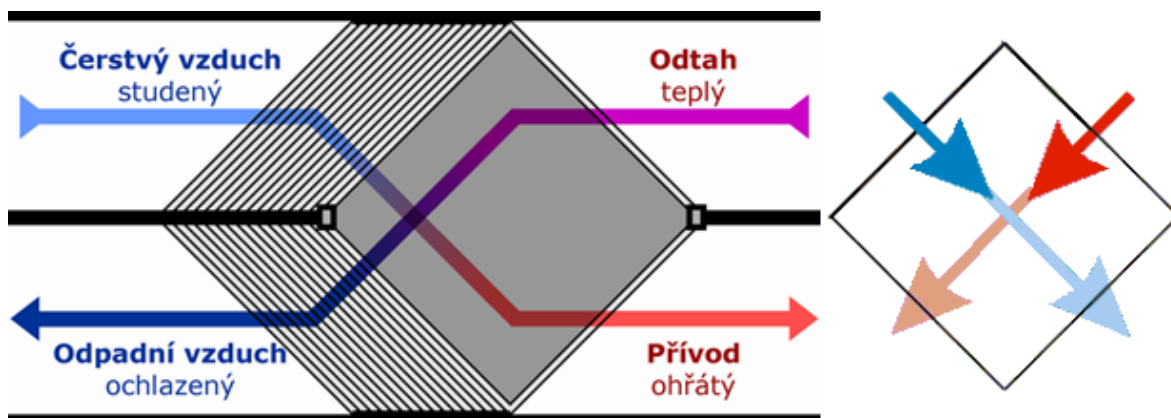
Obrázek 11 Rozdělení rekuperačních výměníků (Kulhánek, 2012)

V rekuperačních výměnících probíhá především sdílení citelného tepla. Tyto výměníky mají oba proudy vzduchu odděleny neprodyšnou pevnou stěnou teplosměnné plochy. Díky tomu je zamezeno mísení odpadního vzduchu s nově přichozím, čímž je zamezeno i předávání vlhkosti (Kulhánek, 2012).

V dnešní době se začínají na trh ČR dostávat takzvané entalpické výměníky, které dokáží vracet odvětranou vlhkost zpět do prostředí. Takovýto systém je zvláště výhodný pro dřevostavby s teplovzdušným vytápěním, u kterých hrozí přesušování vzduchu.

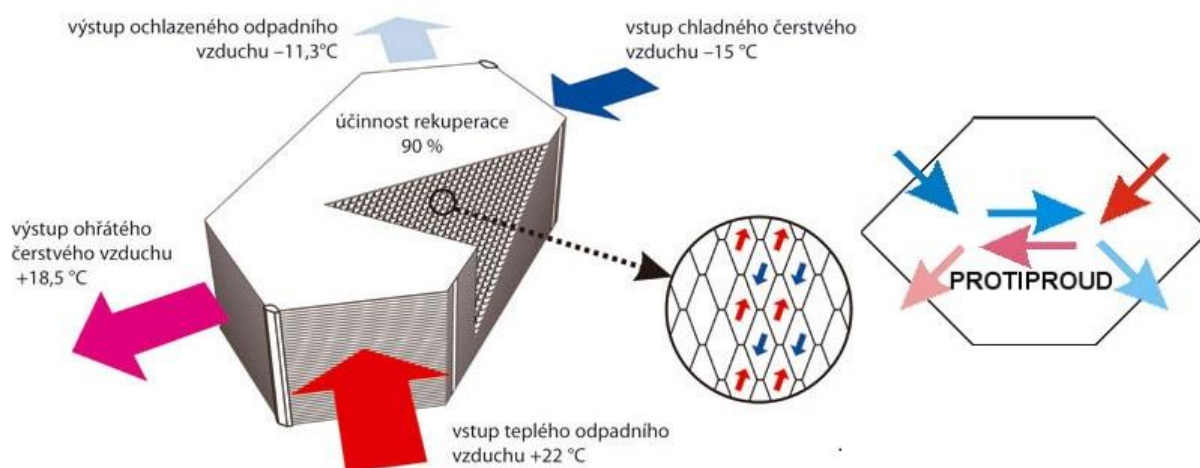
6.1.1 Rekuperační výměníky přímé

U přímých rekuperačních výměníků jsou většinou používány deskové výměníky. Teplo z odpadního vzduchu je předáváno přes teplosměnnou plochu rovných, zvlněných nebo foliových lamel čerstvému vzduchu přiváděnému z exteriéru. Teplosměnná plocha může být vyrobena z umělé hmoty, pozinkovaného plechu, nerezového plechu či hliníku. Jednotlivá žebra teplosměnných ploch jsou od sebe vzdálena většinou 2,5 – 12,5 mm.



Obrázek 12 Princip křížového deskového výměníku (Lain, 2006)

Mezi nepoužívanější deskové rekuperační výměníky patří křížové, viz Obrázek 12 a protiproudé deskové výměníky, viz Obrázek 13. Rozdíl mezi křížovým a protiproudým výměníkem je ve směru kanálů pro jednotlivé proudy vzduchu. Křížovým výměníkem prochází čerstvý a odpadní vzduch kolmo na sebe, zatím co u protiproudého výměníku proudí liniově proti sobě. U protiproudého výměníku vzniká tedy delší dráha pro rovnoměrné předání energie, a proto dosahuje většího efektu. Špičkové protiproudé rekuperační výměníky dosahují účinnosti až 95 % oproti křížovým rekuperačním výměníkům, které dosahují účinnosti okolo 80 % (Lain, 2006).



Obrázek 13 Princip protiproudého deskového výměníku (Lain, 2006)

Výhodami deskových výměníků jsou vyrovnaný přestup tepla, jednoduchá konstrukce a jeho snadná čistitelnost. Vlastní výměník bývá snadno vyjímatelný

z rekuperační jednotky. Díky těmto vlastnostem jsou deskové výměníky nejpoužívanější variantou pro řízené větrání se zpětným ziskem tepla pro rodinné domy, byty a bytové domy (Kulhánek, 2012).

Deskové výměníky musí být chráněny proti zámruzu kondenzátu v zimním období, čímž by došlo ke zničení výměníku. Způsobů ochrany je několik. Ne úplně z uživatelského hlediska vhodné jsou omezování výkonu ventilátorů až po úplné vypnutí rekuperační jednotky nebo částečné směšování odpadního s nově přichozím vzduchem. Dalšími variantami jsou přívod vzduchu přes zemní registr nebo přehřev pomocí elektrického článku. V dnešní době se na našem trhu vyskytují také jednotky, které mají protimrazovou ochranu výměníku řešenou již jeho konstrukcí tzv. trubkové výměníky.

Trubkové výměníky jsou principem funkce podobné jako výměníky deskové, liší se však konstrukčně. Tento výměník má zvrásněný povrch. U tohoto typu výměníku dochází k turbulentnímu průchodu vzduchu díky spirálové konstrukci trubek. Protiproudý trubkový výměník má až 80 % účinnost a jeho důležitou vlastností je, že v zimním provozu nezamrzá. Jeho nároky na elektrickou energii jsou tedy jen ve spotřebě ventilátorů.

6.1.2 Rekuperační výměníky nepřímé

Název skupiny nepřímých rekuperačních výměníků je zapříčiněn způsobem, kterým probíhá výměna tepelné energie mezi odpadním a čerstvým vzduchem. U přímých výměníků dochází k tomuto předání energie pouze přes teplosměnnou plochu. U nepřímých rekuperačních výměníků je místo akumulčního tělesa použito další tepelně vodivé médium nejčastěji kapalné, které zprostředkovává přenos tepelné energie. Tato energie je odebírána odchozímu teplejšímu vzduchu a různými způsoby předána nově přichozímu čerstvému vzduchu. Podle druhu přenosového media dělíme nepřímé výměníky na nepřímé rekuperační výměníky s kapalinovým okruhem a nepřímé rekuperační výměníky z tepelných trubic, ty dále dělíme na kapilární a gravitační (Humňal, 2011).

6.2 Rekuperační jednotky s přímým výměníkem

V této kapitole je proveden průzkum trhu. Jsou zde nastíněni hlavní výrobci pasivních rekuperačních jednotek a jejich produkty aktuálně dostupné na českém trhu s ohledem na jejich technické údaje a v neposlední řadě cenu. U každého z vybraných výrobců je uveden stručný popis firmy a uvedeny základní jednotky užívané pro běžné rodinné domy a to s kapacitou větrání 150 – 400 m³/h bez podstropních variant.

6.2.1 Air Pohoda s.r.o.

Air Pohoda s.r.o. je česká firma ze Zlína. Tato společnost je aktuálně jediným výrobcem, který využívá ve své jednotce entalpický výměník s klapkami pro aktivní kontrolu vlhkosti od firmy Recair.

Tabulka 6 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Air Pohoda s.r.o.

Název jednotky		Ultima iERV
Rozměry VxŠxH	mm	1100x600x520
Hmotnost	kg	40
Kapacita větrání	m ³ /h	300
Příkon	W	120W
Účinnost	max v %	95
Výměník		entalpický PE
Ventilátory	Typ	EC
Regulace	typ	WIFI rozhraní
Protimrazová ochrana	řešení	není třeba - výměník
Bypass		ano
Cena prodejní	bez DPH	69 900 Kč
Cena ovladače	bez DPH	v ceně

6.2.2 Atrea s.r.o.

Firma Atrea s.r.o. se pohybuje na českém trhu již od roku 1990. V současné době sídlí v Jablonci nad Nisou. Společnost se výrazněji orientuje na export výrobků do celé Evropy, který již převyšuje 40 % celkového objemu produkce. V Tabulce 7 jsou uvedeny pasivní rekuperační jednotky Duplex od této firmy.

Tabulka 7 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Atrea s.r.o.

Název jednotky		Duplex 190ECV4.D.CF	Duplex Easy250	Duplex Easy300	Duplex 390ECV4.D.CF
Rozměry VxŠxH	mm	880x560x370	660x850x180	820x850x250	950x550x490
Hmotnost	kg	26	20	21	30
Kapacita větrání	m ³ /h	190	280	330	390
Příkon	W	70	120	120	180
Účinnost	max v %	93	93	93	90
Výměník		protiproudý PE	protiproudý PE	protiproudý PE	protiproudý PE
Ventilátory	Typ	EC	EC	EC	EC
Regulace	typ	programovatelná	programovatelná	programovatelná	programovatelná
Protimrazová ochrana	řešení	regulace otáček	regulace otáček	regulace otáček	regulace otáček
Bypass		ano	ano	ano	ano
Cena prodejní	bez DPH	41 900 Kč	27 900 Kč	29 900 Kč	44 800 Kč
Cena ovladače	bez DPH	v ceně	v ceně	v ceně	v ceně

6.2.3 Brink Climate Systems

Firma Brink je nizozemský výrobce a dodavatel vnitřních vzduchotechnických systémů pro rodinné domy a malé komerční budovy. Pro český trh je od roku 2011 výhradním dodavatelem firma ŠTORC TZB s.r.o.

Tabulka 8 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Brink Climate Systems

Název jednotky		Renovent Excellent 180	Renovent Excellent 300	Renovent Excellent 400
Rozměry VxŠxH	mm	600x560x310	765x675x564	765x675x564
Hmotnost	kg	25	38	38
Kapacita větrání	m ³ /h	180	300	400
Příkon	W		138	166
Účinnost	max v %	95	95	95
Výměník		protiproudý PE	protiproudý PE	protiproudý PE
Ventilátory	Typ	EC	EC	EC
Regulace	typ	Programovatelná	Programovatelná	Programovatelná
Protimrazová ochrana	řešení	regulace otáček	regulace otáček	regulace otáček
Bypass		není	ano	ano
Cena prodejní	bez DPH	39 950 Kč	56 545 Kč	61 950 Kč
Cena ovladače	bez DPH	4 950 Kč	4 950 Kč	4 950 Kč

6.2.4 Lifebreath

Kanadská firma Lifebreath vyrábí rekuperační jednotky více než 30 let. V jednotkách od této firmy jsou užívány hliníkové deskové protiproudé výměníky. Na českém trhu je výhradním dodavatelem těchto jednotek firma CONTI PAN s.r.o.

Tabulka 9 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Lifebreath

Název jednotky		HR 200	HR 240	HR 250 D	HR 350 D	HR 350 HE D
Rozměry VxŠxH	mm	229x483x460	475x690x378	483x854x375	483x854x375	483x854x375
Hmotnost	kg	17	28	32,5	32,5	48
Kapacita větrání	m ³ /h	200	238	277	328	345
Příkon	W	150	140	120	170	173
Účinnost	max v %	72	76	83	81	88
Výměník		protiproudý AL	protiproudý AL	protiproudý AL	protiproudý AI	protiproudý AL
Ventilátory	Typ	-	-	PSC	PSC	-
Regulace	typ	programov.	programov.	programov.	programov.	programov.
Protimrazová ochrana	řešení	regulace otáček	regulace otáček	klapka	klapka	klapka
Bypass		-	-	-	-	-
Cena prodejní	bez DPH	21 890 Kč	30 910 Kč	33 550 Kč	45 089 Kč	52 800 Kč
Cena ovladače	bez DPH	v ceně	v ceně	v ceně	v ceně	v ceně

6.2.5 Nibe

Švédská firma Nibe zásobuje trh výrobky, které zajišťují tepelný komfort domácností i průmyslových objektů. Mezi další oblasti užití výrobků patří vytápění, ohřev teplé vody a ventilace.

Tabulka 10 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Nibe

Název jednotky		GV – HR110-250	GV - HR110-400
Rozměry VxŠxH	mm	1014x550x550	1014x550x551
Hmotnost	kg	32	32
Kapacita větrání	m ³ /h	180	380
Příkon	W	83	170
Účinnost	max v %	96	96
Výměník		deskový - PS	deskový - PS
Ventilátory	Typ	EC	EC
Regulace	typ	manuální	manuální
Protimrazová ochrana	řešení	příslušenství	příslušenství
Bypass		ano	ano
Cena prodejní	bez DPH	57 000 Kč	65 000 Kč
Cena ovladače	bez DPH	v ceně	v ceně

6.2.6 Nilan s.r.o.

Firma Nilan pochází z Dánska, zastoupení pro Českou a Slovenskou republiku má v Plzni. Společnost Nilan má velmi široký sortiment produktů od nejmenších větracích jednotek pro rodinné domy až po nejvýkonnější jednotky pro průmyslová zařízení či sportovní haly.

Tabulka 11 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Nilan s.r.o.

Název jednotky		ECO top	Comfort 250	Comfort 300 top
Rozměry VxŠxH	mm	572x537x600	685x600x420	900x600x495
Hmotnost	kg	36	35	45
Kapacita větrání	m ³ /h	330	260	330
Příkon	W	170	156	139
Účinnost	max v %	93	92	90
Výměník		protiproudý PE	protiproudý PE	protiproudý PE
Ventilátory	Typ	EC	EC	EC
Regulace	typ	manuální	programovatelná	programovatelná
Protimrazová ochrana	řešení	regulace otáček	regulace otáček	regulace otáček
Bypass		pátým hrdlem	ano	ano
Cena prodejní	bez DPH	38 500 Kč	39 200 Kč	47 200 Kč
Cena ovladače	bez DPH	v ceně	v ceně	v ceně

6.2.7 Paul

Firma Paul pochází z Německa o její české zastoupení se stará firma ROSA In s.r.o. sídlící v Praze. Rekuperační jednotky od firmy Paul se mohou dodávat také s membránovým výměníkem se zpětným získáním vlhkosti, tento výměník má

například jednotka Novus 300. Rekuperační jednotka s tímto výměníkem udržuje vlhkost vzduchu v interiéru na úrovni 40 – 60 %.

Tabulka 12 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Paul

Název jednotky		Multi 150	FOCUS 200	NOVUS 300	SANTOS 370DC
Rozměry VxŠxH	mm	1400x320x328	542x752x355	978x792x601	892x714x597
Hmotnost	kg	35	25	50	39
Kapacita větrání	m ³ /h	150	200	300	370
Příkon	W	165	106	117	243
Účinnost	max v %	95	90	95	90
Výměník		protiproudý hPS	protiproudý hPS	protiproudý hPS	protiproudý hPS
Ventilátory	Typ	EC	EC	EC	EC
Regulace	typ	Programovatelná	Programovatelná	Programovatelná	Programovatelná
Protimrazová ochrana	řešení	regulace otáček	regulace otáček	regulace otáček	regulace otáček
Bypass				automatický	automatický
Cena prodejní	bez DPH	54 820 Kč	56 430 Kč	86 400 Kč	68 520 Kč
Cena ovladače	bez DPH	v ceně	v ceně - ruční	v ceně - ruční	v ceně

6.2.8 Regulus spol. s.r.o

Česká firma Regulus spol. s.r.o. se na českém trhu pohybuje od roku 1992. Firma regulus kromě rekuperačních jednotek vyrábí také tepelná čerpadla, sluneční kolektory, zásobníkové ohříváče, akumulární nádrže, expanzní nádoby, inteligentní regulace, krbové vložky, kamna aj.

Tabulka 13 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Regulus spol. s.r.o

Název jednotky		Kinetic B
Rozměry VxŠxH	mm	550x550x285
Hmotnost	kg	15
Kapacita větrání	m ³ /h	275
Příkon	W	120
Účinnost	max v %	92
Výměník		protiproudý
Ventilátory	Typ	EC
Regulace	typ	programovatelná
Protimrazová ochrana	řešení	regulace otáček
Bypass		ano
Cena prodejní	bez DPH	32500 Kč
Cena ovladače	bez DPH	v ceně

6.2.9 Soler and Palau

Skupina Soler & Palau je celosvětovým výrobcem technického zařízení jak pro rodinné domy, tak i pro průmyslové stavby. V České republice se o její zastoupení stará firma Elektrodesign s.r.o. sídlící v Praze.

Tabulka 14 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Soler and Palau

Název jednotky		EHR 225	EHR 280	EHR 325
Rozměry VxŠxH	mm	875x745x444	848x730x472	877x745x471
Hmotnost	kg	41	25	45
Kapacita větrání	m ³ /h	225	280	325
Příkon	W	140	160	198
Účinnost	max v %	92	97	92
Výměník		protiproudý hPS	protiproudý hPS	protiproudý hPS
Ventilátory	Typ	EC	EC	EC
Regulace	typ	manuální	manuální	programovatelná
Protimrazová ochrana	řešení	regulace otáček	regulace otáček	regulace otáček
Bypass		ano	ano	ano
Připojení na iDům		ne	ne	ne
Cena prodejní	bez DPH	22 900 Kč	29 900 Kč	55 700 Kč
Cena ovladače	bez DPH	v ceně	950 Kč	v ceně

6.2.10 Steibel Eltron spol. s.r.o.

Společnost STIEBEL ELTRON spol. s r. o. byla založena v roce 1992 jako zastoupení německé společnosti Stiebel Eltron. Firma nabízí řešení pro mnoho oblastí jako např. vytápění, tepelná čerpadla, ventilací a solární zařízení.

Tabulka 15 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Stiebel Eltron spol. s.r.o

Název jednotky		LWZ 170	LWZ 270	LWZ 370 plus
Rozměry VxŠxH	mm	602x675x445	602x675x445	765x677x567
Hmotnost	kg	31	31	38
Kapacita větrání	m ³ /h	250	350	400
Příkon	W	105	205	196
Účinnost	max v %	90	90	90
Výměník		protiproudý	protiproudý	protiproudý
Ventilátory	Typ			
Regulace	typ	třístupňová	třístupňová	programovatelná
Protimrazová ochrana	řešení	regulace otáček	regulace otáček	předehřev
Bypass		ne	ne	ano
Cena prodejní	bez DPH	42 380 Kč	50 540 Kč	68 540 Kč
Cena ovladače	bez DPH	v ceně	v ceně	v ceně

6.2.11 ThermWet s.r.o.

Společnost ThermWet s.r.o. byla založena počátkem roku 2009 a jedná se o ryze českou firmu se sídlem v Praze. Specialitou firmy ThermWet s.r.o. je rekuperační jednotka Helix Ventbox, která funguje na principu trubkového protiproudého výměníku, který nepotřebuje protimrazovou ochranu. Tento typ výměníku nabízí firma ThermWet s.r.o. jako jediná na trhu.

Tabulka 16 Pasivní rekuperační jednotky pro RD ThermWet s.r.o

Název jednotky		Helix Ventbox	Ventbox 300	Ventbox 400
Rozměry VxŠxH	mm	1890x570x570	803x742x586	803x742x586
Hmotnost	kg	51	35	35
Kapacita větrání	m ³ /h	250	300	400
Příkon	W	170	125	164
Účinnost	max v %	80	92	88
Výměník		Šroubovice AL protiproudý	Protiproudý kanálový	Protiproudý kanálový
Ventilátory	Typ	EC	EC	EC
Regulace	typ	Programovatelná	WIFI rozhraní	WIFI rozhraní
Protimrazová ochrana	řešení	ano - výměník	předehřev	předehřev
Bypass		pouze ventilátory	ano	ano
Cena prodejní	bez DPH	35 500 Kč	52 900 Kč	54 900 Kč
Cena ovladače	bez DPH	6 900 Kč	v ceně	v ceně

7. Srovnávací analýza

Na základě výše uvedeného rozboru problematiky byla zpracována porovnávací analýza, která se zabývá porovnáním kvality vzduchu ve vybraných obytných objektech. Měření probíhalo v pěti různých lokalitách Středočeského kraje a na území hlavního města Prahy. Konkrétně se jednalo o dřevostavby ve Starém Vestci, Vиноři a Květnici, dále o zděnou stavbu v Praze Uhříněvsi a panelový byt v Praze na Pankráci. K měření byl použit měřicí přístroj testo 435 - 2 s interní pamětí a externí sondou IAQ pro posouzení kvality vzduchu v místnosti (měření CO₂, relativní vlhkosti, teploty a absolutního tlaku). K vyhodnocení výsledků byl použit výrobcem dodávaný software testo Comfort - Software X35.



Obrázek 14 Měřicí přístroj testo 435 - 2 se sondou IAQ

Přístroj se sondou byl ve všech zkoumaných domech umístěn v ložnici, kterou obývají dvě dospělé osoby se srovnatelným objemem vzduchu. Sonda byla umístěna ve výšce 700 – 900 mm od podlahy. Měření probíhalo se zavřenými dveřmi, aby jej neovlivňoval vzduch z ostatních obytných prostor. Měření vždy probíhalo po dobu 24 hodin a hodnoty CO₂, relativní vlhkosti, teploty a absolutního tlaku byly zaznamenávány každých 10 minut (více k veličinám v kapitole 4.2). Z každého 24 hodinového měření máme tedy 144 jednotlivých měřících bodů. Nejdůležitější z měřených hodnot a určujícím parametrem pro kvalitu vnitřního prostředí je pro nás hladina hodnot CO₂, viz kapitola 3.2.2.1.

7.1 Měření Starý Vestec



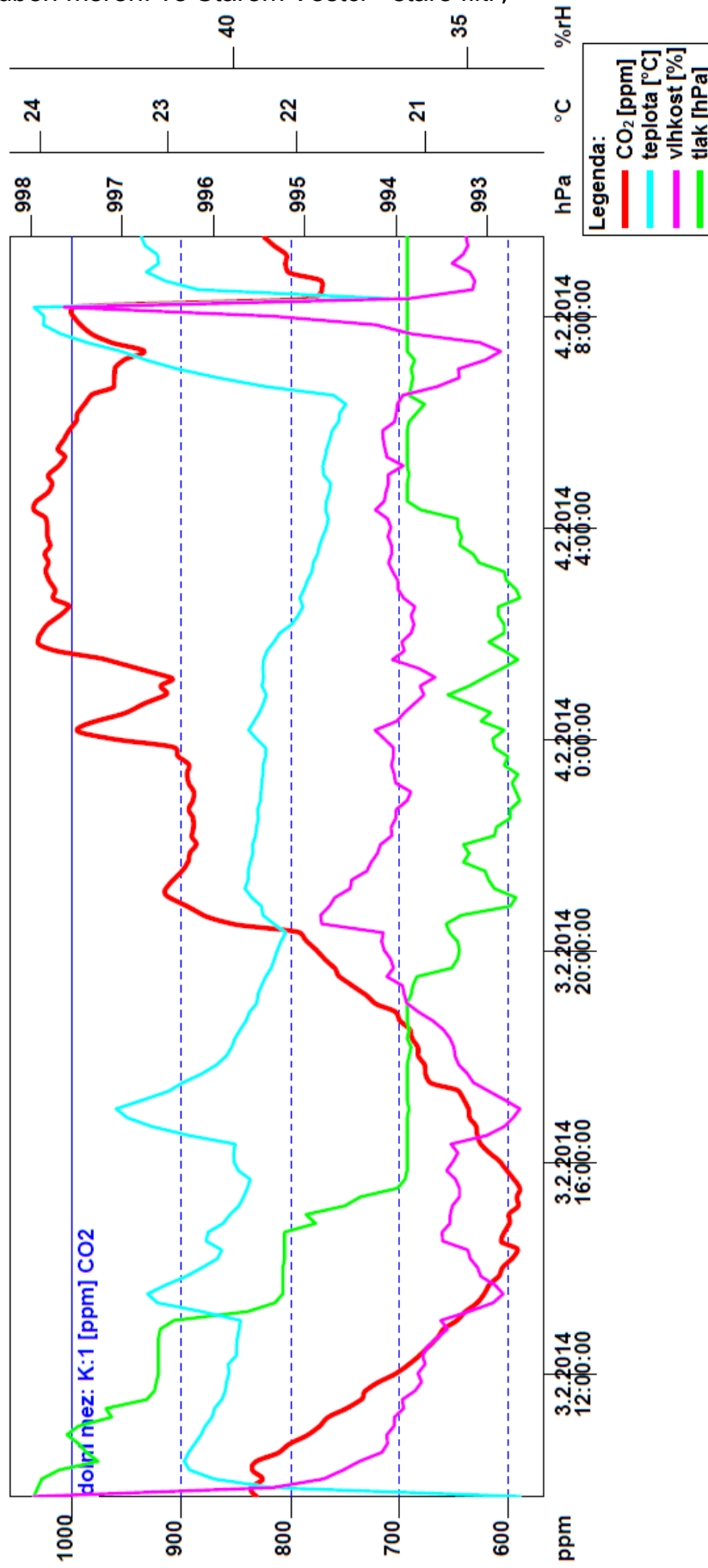
Obrázek 15 Měřený objekt Starý Vestec (Czech Pan, 2013)

Starý Vestec se nachází východně od Prahy ve Středočeském kraji. Nízkoenergetická dřevostavba je zhotovena ze stěnových typových panelů K-Kontrol. Měřená místnost – ložnice rodičů se nalézá v prvním patře objektu a je orientována na východ. Toto měření bylo zaměřeno na vliv filtrů na kvalitu vnitřního ovzduší. První 24 hodinové měření, viz Graf 3, proběhlo se systémem řízeného větrání a rekuperace tepla se starými filtry a druhé 24 hodinové měření, viz Graf 4, s vyměněnými čistými filtry. V domě byla instalována rekuperační jednotka Lifebreath CAF-D-L4a36-ECM. Výsledky obou měření jsou uvedeny v Tabulce 17, jednotlivé hodnoty jsou uvedeny v Příloze 1 a 2.

Tabulka 17 Porovnávací tabulka Starý Vestec

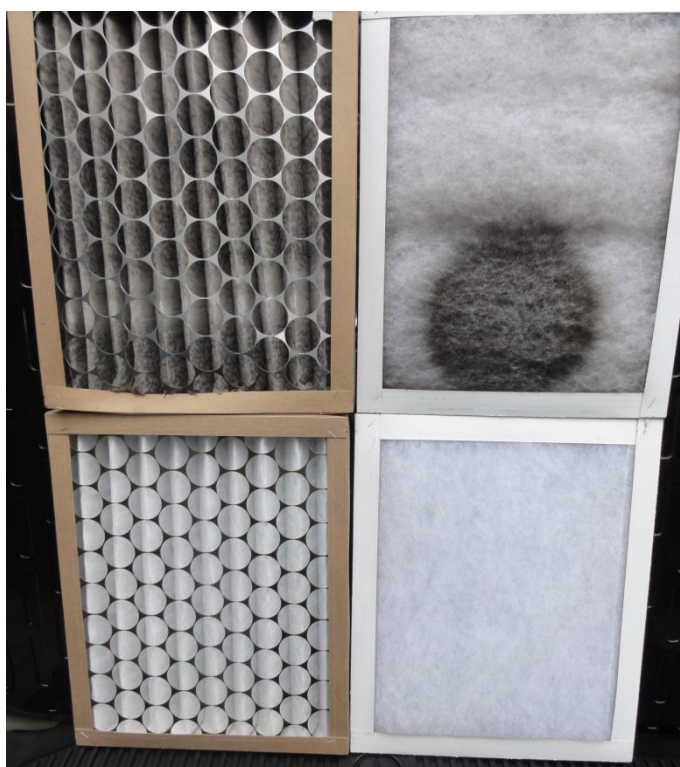
měření	CO ₂ [ppm]		hPa		°C		%rH	
	1	2	1	2	1	2	1	2
min. hodnota	590	532	992	987	20,3	18,5	33,9	31,1
max. hodnota	1035	870	997	995	24,1	24,5	44,3	37,6
střední hodnota	830	654	994	992	22,4	22,9	36,2	33,8
standard. odchylka	148	83	1,4	2,4	0,5	0,6	1,3	1

Graf 3 Průběh měření ve Starém Vestci - staré filtry



Z křivky CO₂ v Grafu 3, který reprezentuje měření se starými filtry, je patrný začátek obývání sledované ložnice a ukládání osob ke spánku okolo 20 h. Hodnoty CO₂ se celou dobu spánku pohybovaly okolo přijatelné hodnoty 1 000 ppm. V 8 h lze z prudkého poklesu hodnoty CO₂ a teploty vyčíst vyvětrání ložnice oknem. Nárůst relativní vlhkosti v čase těsně před vyvětráním zapříčinilo využití koupelny, která přiléhá ke sledované ložnici a má do ní i přímý vstup.

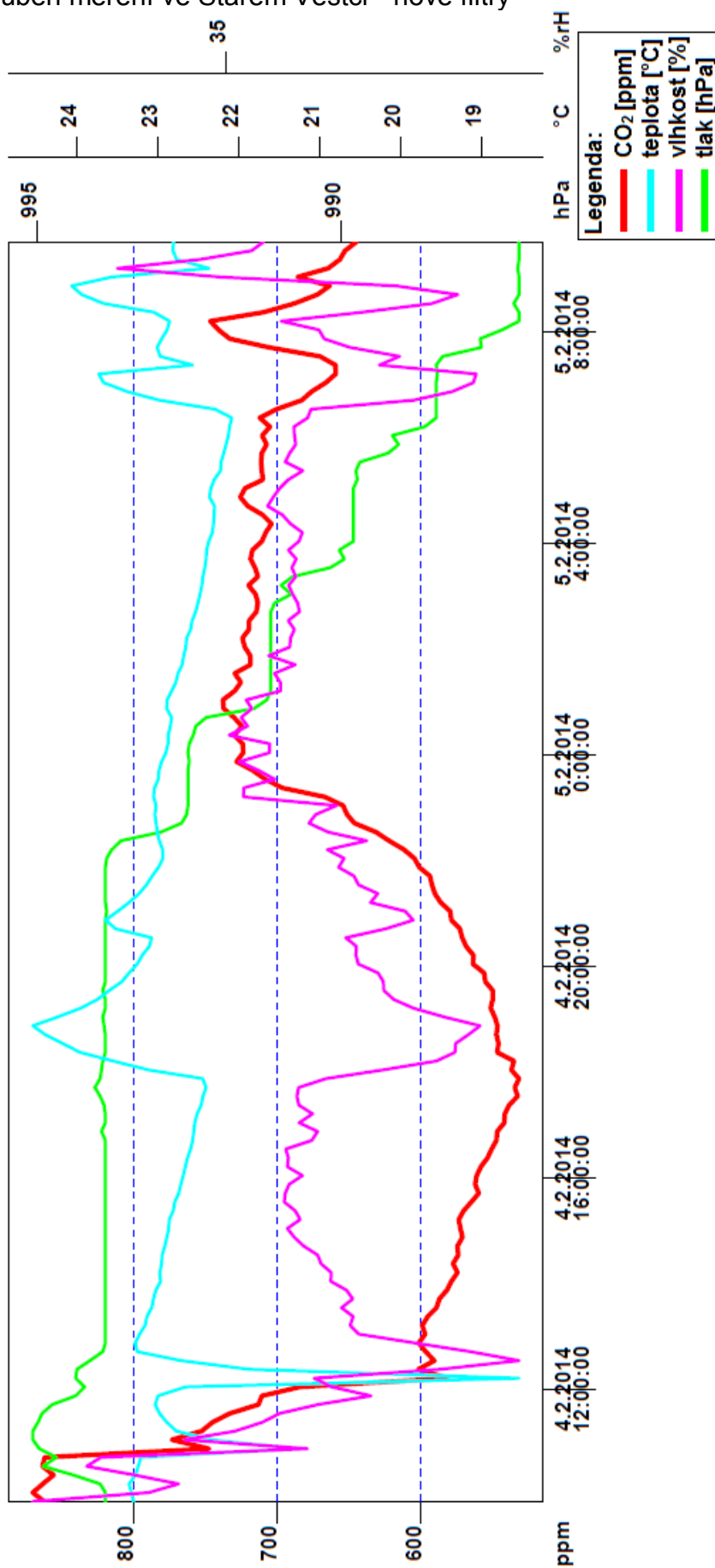
Rozdíl mezi starými a novými filtry je patrný na Obrázku 16. Na Obrázku 16 jsou v horní části vidět staré filtry užívané 3 měsíce a v dolní části filtry nové. V pravé části tohoto obrázku se nachází hrubé filtrační médium G4 a v levé jemné M5. Specifikům jednotlivých filtrů se zabývá kapitola 3.2.4.



Obrázek 16 Staré a nové filtry

Sledované hodnoty s novými filtry ukazuje Graf 4. Hlavní určující parametr kvality vnitřního prostředí CO₂ se pohybuje v přijatelných mezích. Jediným extrémem je krátce po 12 h pokles teploty a relativní vlhkosti zapříčiněný vyvětráním oknem.

Graf 4 Průběh měření ve Starém Vestci - nové filtry



7.2 Měření Vinoř



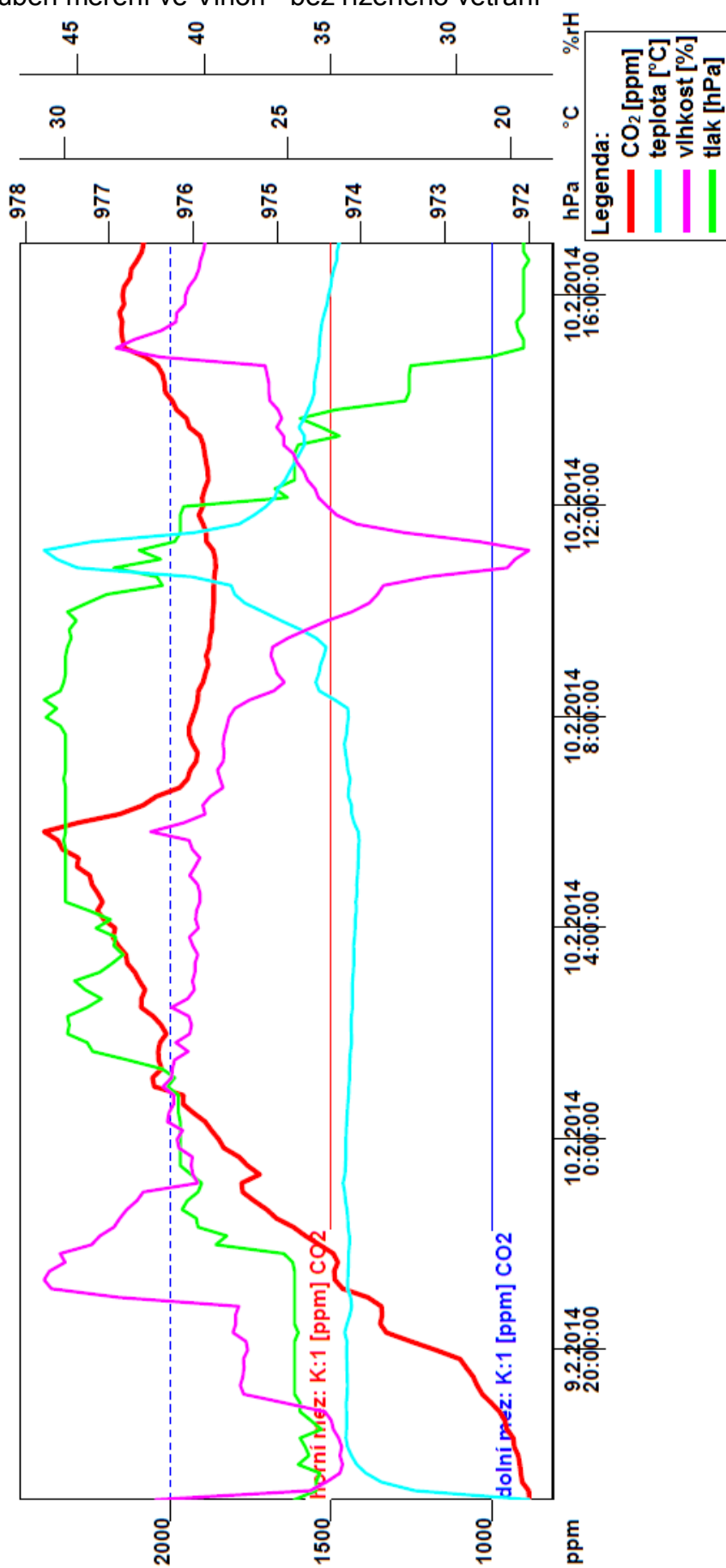
Obrázek 17 Měřený objekt Vnoř

Městská část Praha – Vnoř se nachází v severovýchodní části Prahy. Tato panelová dřevostavba s difuzně otevřenou konstrukcí je zhotovena v pasivním standardu. Ložnice rodičů v prvním patře, ve které byl umístěn měřicí přístroj, je orientována na jihovýchod. Měření bylo zaměřeno na kvalitu vnitřního prostředí nejprve bez systému řízeného větrání, viz Graf 5 a na podruhé se zapnutým systémem řízeného větrání s rekuperací tepla viz Graf 6. V objektu byla instalována rekuperační jednotka Ultima iERV od firmy Airpohoda s.r.o. s entalpickým výměníkem. Výsledky obou měření jsou uvedeny v Tabulce 18, jednotlivé hodnoty jsou uvedeny v Příloze 3 a 4.

Tabulka 18 Porovnávací tabulka Vnoř

měření	CO ₂ [ppm]		hPa		°C		%rH	
	1	2	1	2	1	2	1	2
min. hodnota	883	708	972	984	19,6	20,2	27,1	33,1
max. hodnota	2392	1714	977	989	30,4	26,4	46,3	49,8
střední hodnota	1817	1004	975	987	24,1	23,7	38,9	40
standard. odchylka	383	338	1,6	1,6	1,2	0,9	3,4	3,3

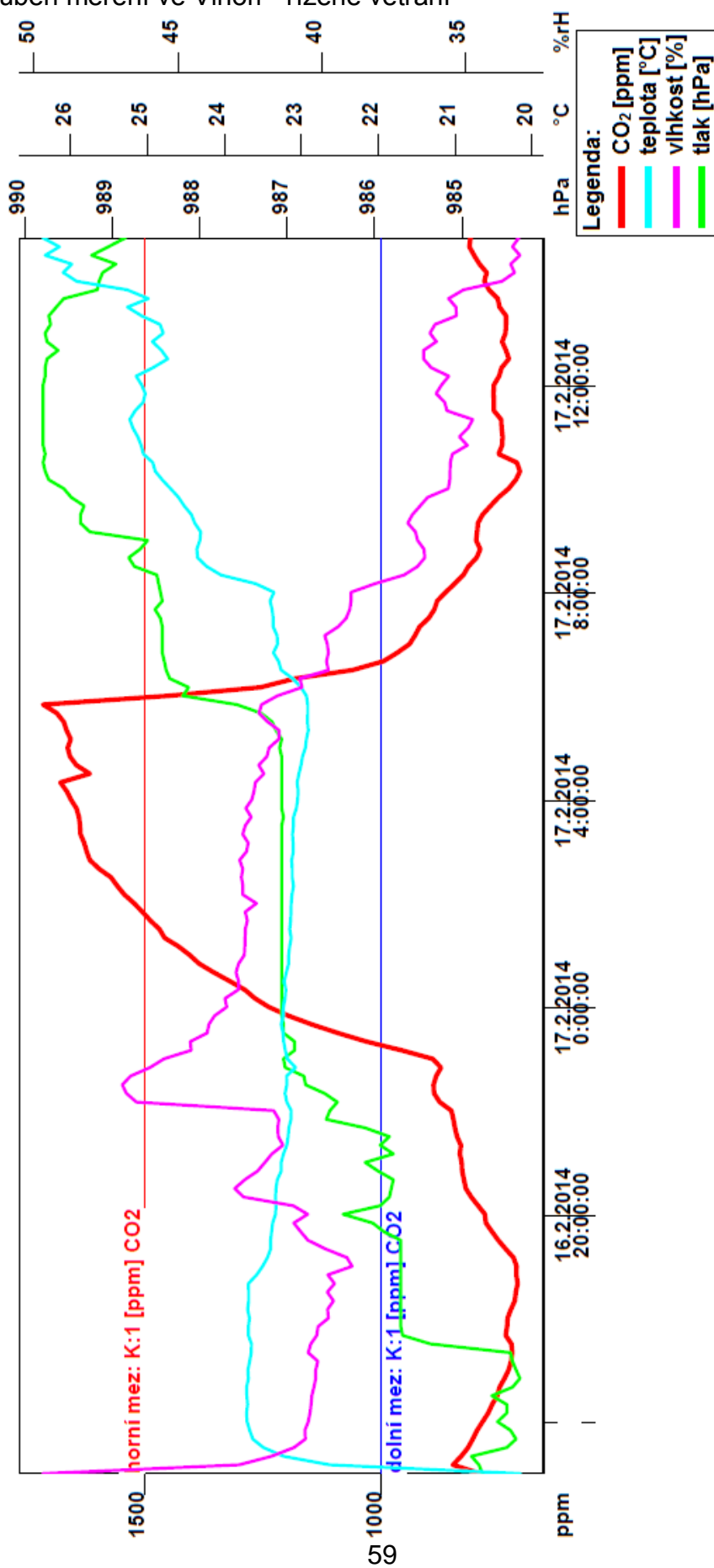
Graf 5 Průběh měření ve Vinoři - bez řízeného větrání



V Grafu 5 jsou zaneseny sledované hodnoty objektu ve Vinoři bez řízeného větrání. Dle hladiny CO₂ lze vyčíst obsazení sledované ložnice od cca 20 h. Již v 22 h je zde překročena maximální dovolená hranice hladiny CO₂ 1 500 ppm, která stoupá až k hodnotě 2 392 ppm, naměřené v 5:50 h, kdy obyvatelé vstávali. Zajímavým ukazatelem je zvýšení teploty v ložnici okolo 11 h vlivem tepelných zisků ze slunečního záření díky orientaci prosklených ploch na jihovýchod a slunečnému počasí. Naproti zvýšení teploty lze sledovat pokles vlhkosti.

Graf 6 znázorňuje sledované hodnoty při zapnutém systému řízeného větrání. Z křivky CO₂ lze vypočítat uložení ke spánku obyvatelů v 11. Hodnoty CO₂ se pohybují v přijatelných hodnotách mimo časového úseku od 2 h ráno do 6 h ráno, kdy obyvatelé vstávali. Hodnoty překročily horní mez 1 500 ppm maximálně o 214 ppm. Při klidovém režimu přes den, kdy místnost nikdo neobývá se hodnota CO₂ pohybuje pod dolní hranicí 1 000 ppm okolo hodnoty 750 ppm. Z Grafu 6 lze dále vyčíst snižování relativní vlhkosti v závislosti na zvyšování teploty, z důvodu nainstalovaného teplovzdušného vytápění domu.

Graf 6 Průběh měření ve Vinoři - řízené větrání



7.3 Měření Květnice



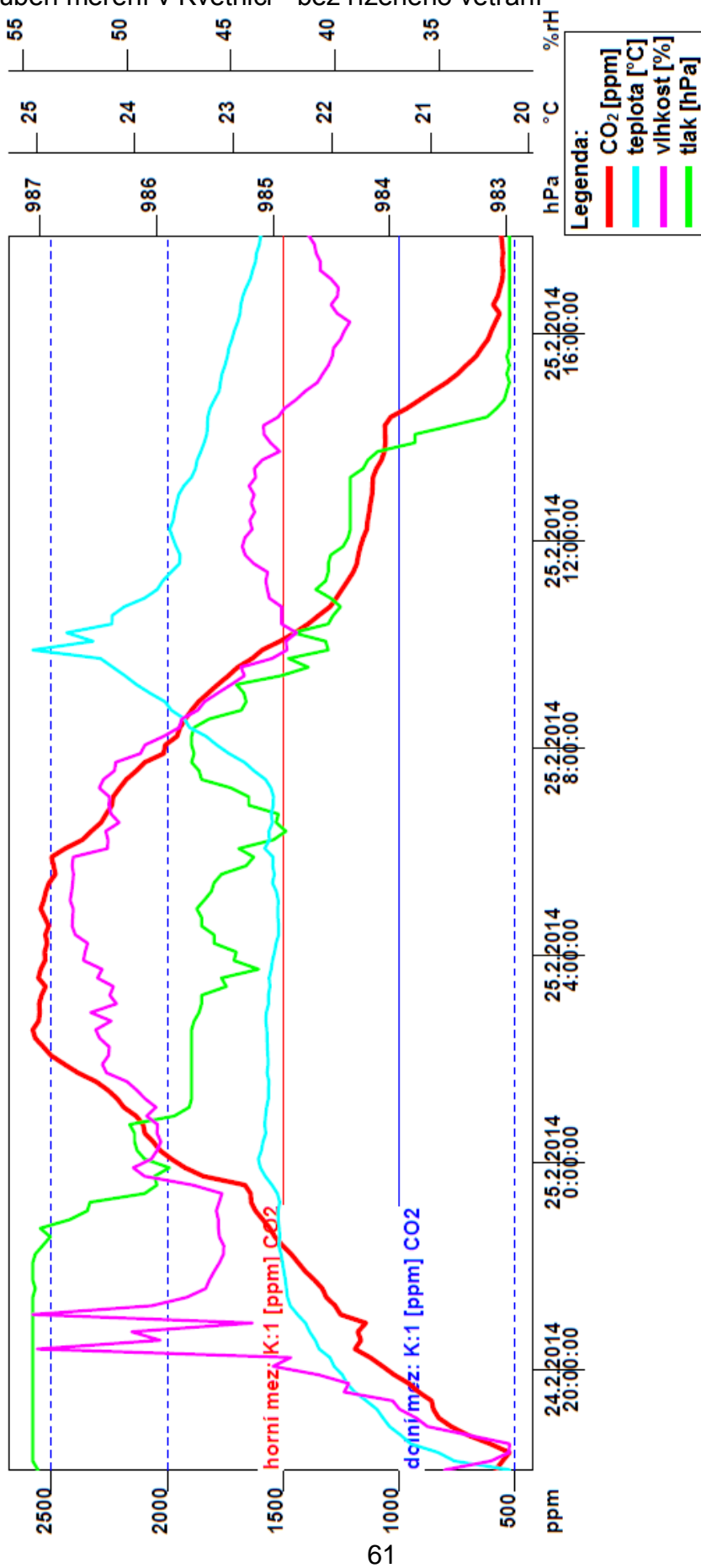
Obrázek 18 Měřený objekt Květnice

Měřený objekt se nachází východně od Prahy ve Středočeském kraji v obci Květnice. Tato nízkoenergetická dřevostavba je zhotovena z konstrukčních panelů od firmy HLC. Měřená ložnice rodičů v prvním patře je orientována jihovýchodním směrem. Toto měření bylo zacíleno na kvalitu vnitřního prostředí nejprve bez systému řízeného větrání, viz Graf 7 a v dalším měření se systémem řízeného větrání s rekuperací tepla viz Graf 8. V objektu je instalována rekuperační jednotka ILTO 440 Premium od firmy Nativa s.r.o. Výsledky obou měření jsou uvedeny v Tabulce 19, jednotlivé hodnoty jsou uvedeny v Příloze 5 a 6.

Tabulka 19 Porovnávací tabulka Květnice

měření	CO ₂ [ppm]		hPa		°C		%rH	
	1	2	1	2	1	2	1	2
min. hodnota	524	561	983	983	20,2	21,7	31,6	38,8
max. hodnota	2579	1680	987	985	25,0	22,9	54,5	50,1
střední hodnota	1560	1067	985	985	22,8	22,4	45,6	44,3
standard. odchylka	674	417	1,3	0,7	0,7	0,3	5	3,6

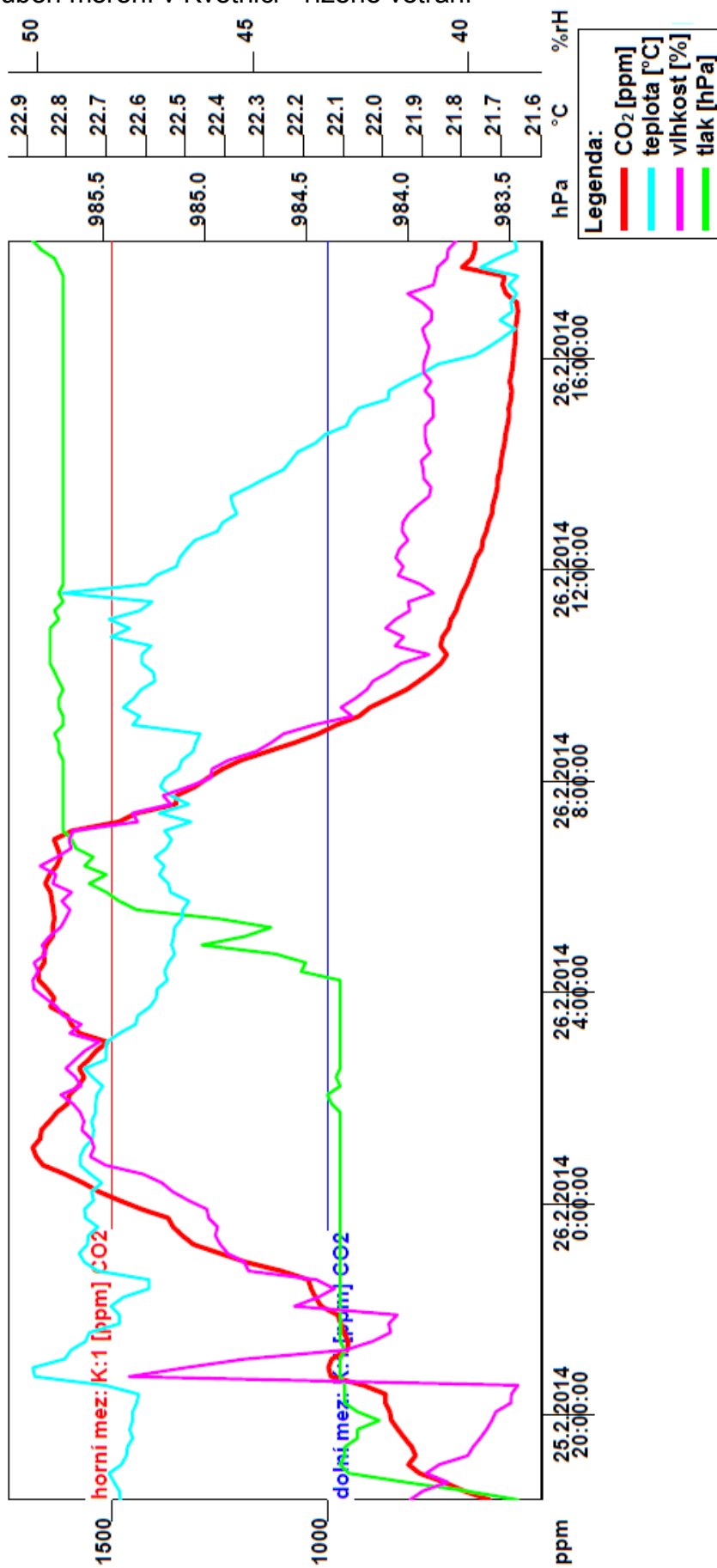
Graf 7 Průběh měření v Květnici - bez řízeného větrání



Graf 7 ukazuje sledované hodnoty v rodinném domě v obci Květnice bez zapnutého systému řízeného větrání s rekuperací tepla. Dle Křivky CO₂ lze odhadnout obývání ložnice uživateli od 19 h do 6:30 h ráno. Hodnota CO₂, která je určujícím parametrem kvality vnitřního prostředí se dostala nad hraniční úroveň 1 500 ppm v 21:30 h a pod tuto úroveň klesla až v 10 h. Maximální hodnota CO₂ byla dosažena v 2:30 h a to 2 599 ppm. Od 7 h, kdy uživatelé opustili ložnici hladina CO₂ plynule klesala až k hodnotě 560 ppm. Hodnoty relativní vlhkosti a teploty se pohybovaly v přijatelných mezích.

Hodnoty se zapnutým systémem rekuperace můžeme vidět v Grafu 8. Z grafu je patrné obývání ložnice uživateli od 19:30 h, kdy je viditelný nárůst hodnoty CO₂ do 7 h, kdy je naopak viditelný její pokles. Hodnoty CO₂ se pohybují nad horní mezí 1 500 ppm v časovém intervalu od 0:15 h až do 7 h. Tyto hodnoty v maximu překračují hraniční hodnotu o 180 ppm. Při prázdné místnosti klesají hodnoty CO₂ na 561 ppm. Křivka teploty klesá z důvodu útlumu vytápění uživateli.

Graf 8 Průběh měření v Květnici - řízené větrání



7.4 Měření Uhříněves



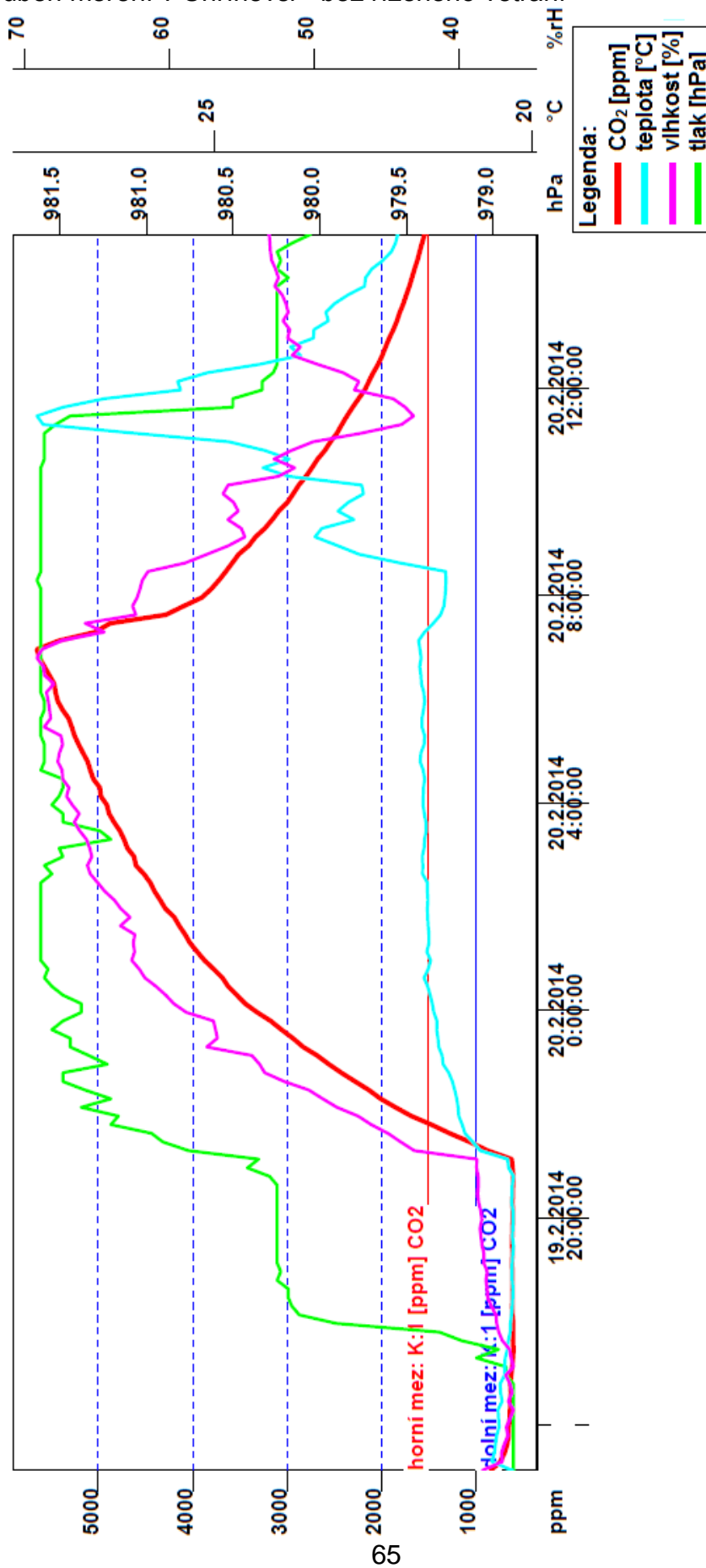
Obrázek 19 Měřený objekt Uhříněves

Tento objekt se nalézá v městské části Praha – Uhříněves. Tato nízkoenergetická novostavba je realizována z cihel Porotherm a fasáda je zateplena polystyrenem. Objekt je nízkoenergetického standardu. Sonda byla taktéž umístěna do ložnice manželů v prvním patře orientované na jihovýchod. V tomto objektu jsme se zaměřili na kvalitu vnitřního prostředí nejprve bez systému řízeného větrání, viz Graf 9 a v dalším měření se systémem řízeného větrání s rekuperací tepla, viz Graf 10, tentokrát ve zděné stavbě. Systém řízeného větrání s rekuperací tepla v tomto případě zabezpečuje rekuperační jednotka Ventbox 300 od firmy ThermWet s.r.o. Výsledky obou měření jsou uvedeny v Tabulce 20, jednotlivé hodnoty jsou uvedeny v Příloze 7 a 8.

Tabulka 20 Porovnávací tabulka Uhříněves

měření	CO ₂ [ppm]		hPa		°C		%rH	
	1	2	1	2	1	2	1	2
min. hodnota	599	448	978	990	20,3	19,7	36,2	25,0
max. hodnota	5649	1130	981	994	27,8	24,9	69,1	37,9
střední hodnota	2704	728	980	992	21,9	21,4	52,8	32
standard. odchylka	1676	240	0,9	1,4	1,5	1	11,1	2,9

Graf 9 Průběh měření v Uhříněvsi - bez řízeného větrání

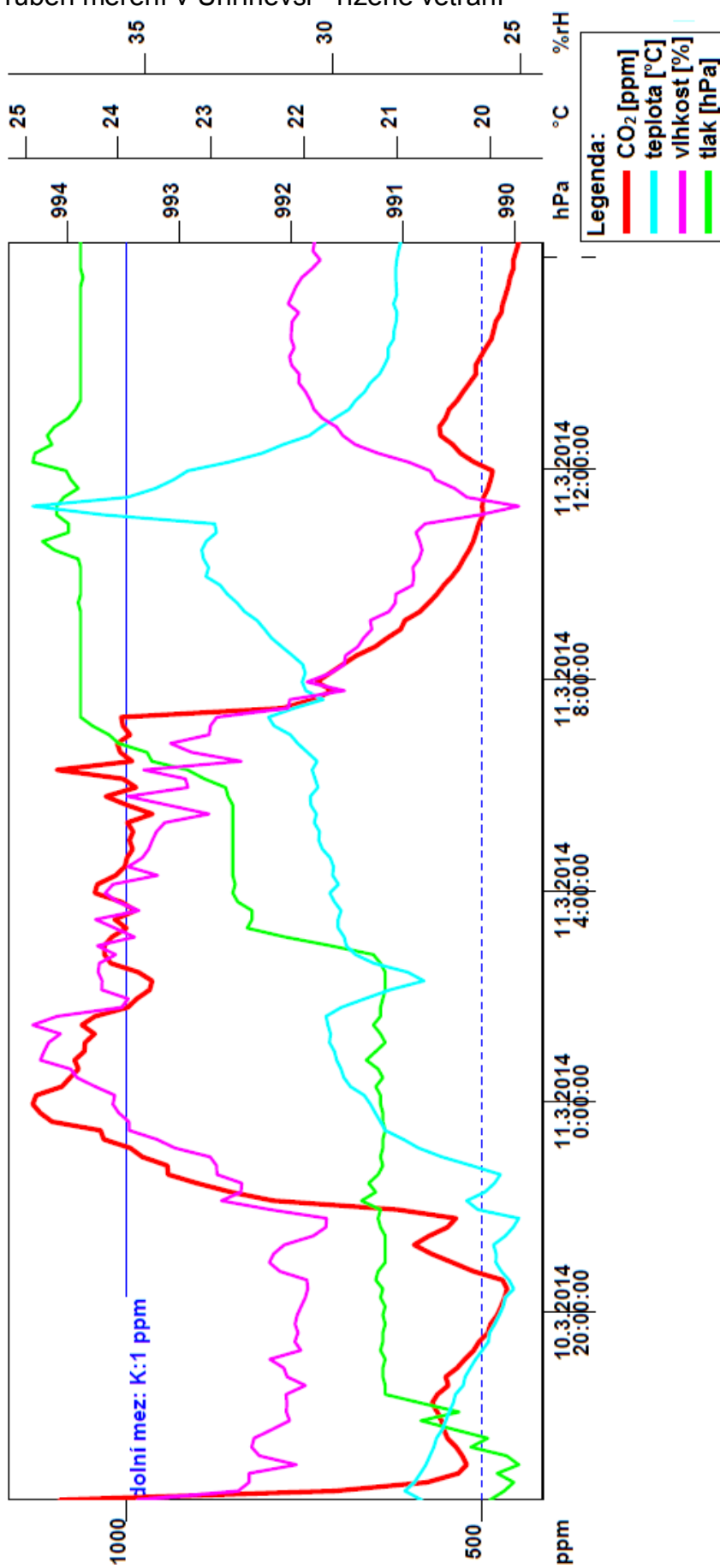


Výsledky měření kvality vnitřního prostředí bez systému řízeného větrání s rekuperací tepla v objektu v Praze v Uhřetěvsi jsou zaneseny v Grafu 9. Z křivky CO₂ je jasně patrné obývání ložnice obyvateli od 21 h. Od této doby hladina CO₂ prudce stoupala až k hodnotě 5 649 ppm, která vysoce převyšuje maximální povolenou hodnotu 1 500 ppm. V 7 h obyvatelé vstávali a od této doby hodnota CO₂ postupně klesla až k přijatelným hodnotám.

V Grafu 10 jsou uvedené hodnoty s použitím systému řízeného větrání s rekuperací. Z křivky CO₂ je patrné uložení ke spánku obyvatel ložnice okolo 21 h a vstávání v 7 h. Po celou dobu spánku se hodnota CO₂ pohybuje kolem doporučené hodnoty 1 000 ppm. V době nevyužívání ložnice obyvateli klesla sledovaná hodnota až na 448 ppm.

Jak v Grafu 9, tak i v Grafu 10 je patrné zvýšení teploty v ložnici okolo 11 h vlivem tepelných zisků ze slunečního záření díky orientaci prosklených ploch na jihovýchod a slunečnému počasí a naopak pokles vlhkosti. Stejně jako tomu bylo při měření ve VINOŘI.

Graf 10 Průběh měření v Uhříněvsi - řízené větrání



7.5 Měření Pankrác



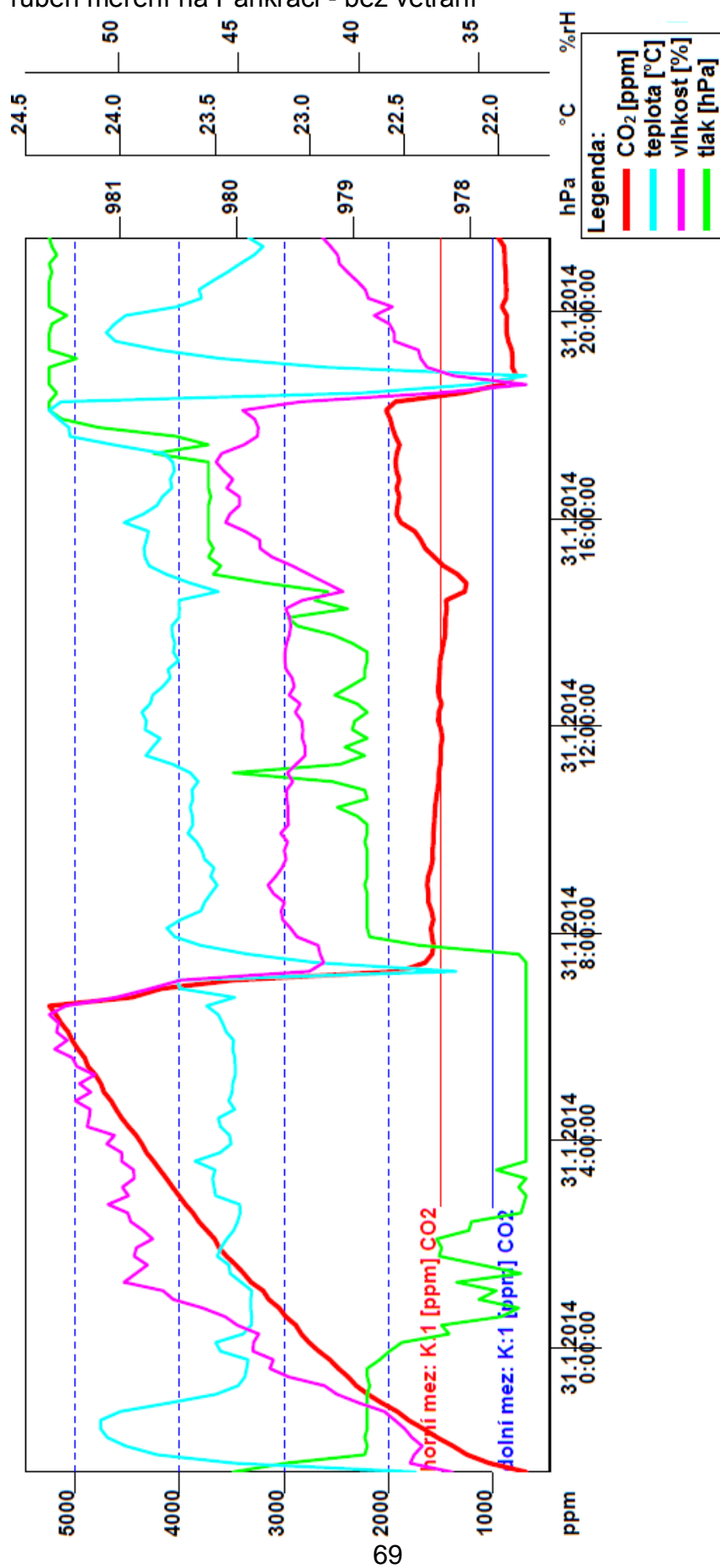
Obrázek 20 Měřený objekt Pankrác

Poslední zkoumaný objekt se nachází v Praze na Pankráci a jedná se o panelový byt. Panelový dům byl měřen z důvodu zajímavého porovnání jednoho z nejběžnějších typů bydlení s nízkoenergetickými stavbami. Dům je vybudován z konstrukčního systému T08B a jeho fasáda je zateplena. Výzkum byl proveden v ložnici, která se nachází v prvním patře. Objekt je revitalizován také novými plastovými okny. Toto měření bylo zaměřeno na vliv použití mikroventilace na kvalitu vnitřního ovzduší. První 24 hodinové měření proběhlo bez umožněné mikroventilace, viz Graf 11 a druhé měření s umožněnou mikroventilací okny viz Graf 12. Výsledky obou měření jsou uvedeny v Tabulce 21, jednotlivé hodnoty nalezneme v Příloze 9 a 10.

Tabulka 21 Porovnávací tabulka Pankrác

měření	CO ₂ [ppm]		hPa		°C		%rH	
	1	2	1	2	1	2	1	2
min. hodnota	682	565	977	974	21,8	20,8	33,0	41,4
max. hodnota	5246	1897	981	988	24,3	22,9	52,9	50,0
střední hodnota	2290	1235	979	981	23,57	22,20	44,2	45
standard.odchylka	1288	397	1,4	3,9	0,4	0,3	4,3	1,7

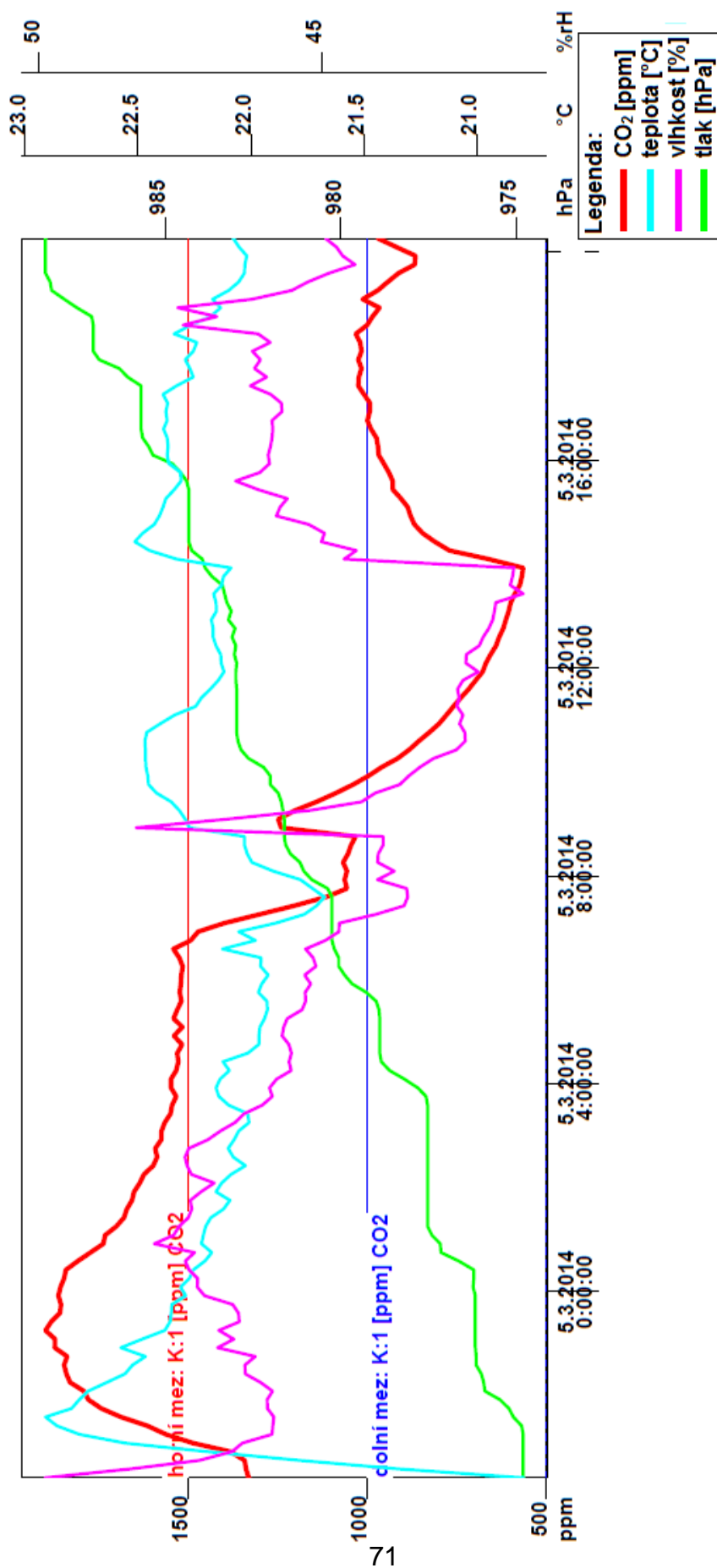
Graf 11 Průběh měření na Pankráci - bez větrání



Graf 11 reprezentuje hodnoty naměřené v panelovém bytě na Pankráci bez větrání mikroventilací. Dle křivky CO₂ lze uvést dobu ulehnutí osob v ložnici ke spánku krátce po instalování měřicího přístroje a to ve 22 h. Sledovaná koncentrace CO₂ se od doby využívání místnosti vyšplhala až k hodnotě 5 247 ppm. Maximální hodnota byla naměřena v 6:35 h, těsně před vstáváním osob. Takové množství CO₂ je stejně jako u objektu v Uhříněvsi bez řízeného větrání vysoce nadlimitní a zdraví škodlivá. Prudký pokles CO₂ byl zapříčiněn jak je vidět i z poklesu teploty vyvětráním okny. Po opuštění ložnice obyvateli se hodnota CO₂ držela těsně maximální hodnoty 1 500 ppm. Tato hodnota vydržela v místnosti až do 15 h, kdy ji začala obývat jedna osoba. Prudký pokles CO₂, teploty a relativní vlhkosti v 18:25 h značí opět vyvětrání místnosti okny.

Průběh měřených údajů s umožněnou mikroventilací oken je patrný z Grafu 12. Začátek obývání ložnice v panelovém bytě je dle CO₂ patrný také krátce po instalování přístroje a to v 21 h. Po dobu spánku, která byla od zmiňovaných 21 h do 6:30, se koncentrace CO₂ pohybovala nad hraniční hodnotou 1 500 ppm, ne však již tak výrazně jako v měření se zavřenými okny. Ostatní hodnoty relativní vlhkosti, teploty a absolutního tlaku se pohybovaly v přijatelných hodnotách.

Graf 12 Průběh měření na Pankráci - větrání mikroventilací



8. Vyhodnocení

V této kapitole nalezneme vyhodnocení výsledků měření u jednotlivých zkoumaných objektů, případně doporučení pro jejich zlepšení. V celkovém vyhodnocení jsou porovnány všechny objekty, ve kterých probíhalo měření.

8.1 Vyhodnocení jednotlivých objektů

8.1.1 Starý Vestec

U tohoto objektu jsme se zaměřili na porovnání měření kvality vnitřního prostředí se starými filtry a novými filtry v rekuperační jednotce. Z Grafu 3 a Grafu 4 je vidět nepatrný rozdíl hodnot CO₂, teploty, relativní vlhkosti a absolutního tlaku. Hlavní reprezentant kvality vnitřního prostředí - oxid uhličitý se v obou případech drží pod nebo těsně u ideální hranice doporučené úrovně CO₂ 1 000 ppm ve vnitřních prostorách, viz Tabulka 3 a tedy i hluboko pod limitní hodnotou 1 500 ppm. Relativní vlhkost se v obou případech drží u spodní hranice doporučených hodnot.

Na námi měřené hodnoty nemá výměna filtrů tedy významný vliv. Výměna filtrů je však důležitým aspektem z hlediska prachových částic a dalších nečistot, které mohou být přiváděny zpět do interiéru. Čistota filtrů má také vliv na zanášení vzduchovodů i celé jednotky a tím i na zvýšené namáhání ventilátorů.

8.1.2 Vinoř

U objektu v Praze Víně je patrné zlepšení vnitřního prostředí s užitím systému řízeného větrání s rekuperací tepla oproti hodnotám, kdy systém nebyl aktivní. Z Tabulky 18 můžeme vyčíst střední hodnotu oxidu uhličitého bez řízeného větrání 1 817 ppm a při aplikaci systému 1 004 ppm během 24 hodin. V grafech 5 a 6 jsou vyznačeny hraniční hodnoty dle Tabulky 3. I při užití řízeného větrání maximální hodnota CO₂ překročila maximální doporučenou hodnotou 1 500 ppm v noci a to až o 214 ppm.

Jednoduchým řešením tohoto problému by mohla být instalace čidla oxidu uhličitého do měřené ložnice rodičů. Toto čidlo při překročení přednastaveného limitu CO₂ automaticky zareaguje a zvýší výkon jednotky, čímž umožní dokonalejší provětrání.

Bez systému řízeného větrání v tomto objektu docházelo k přesušování vnitřního klima. Nejnižší naměřená hodnota relativní vlhkosti byla 27,1 %. Tento problém vyřešila jednotka s entalpickým výměníkem, která má možnost regulovat vlhkost v domě.

8.1.3 Květnice

V obytném domě v obci Květnice se výzkum zaměřil také na kvalitu prostředí se zapnutým a vypnutým systémem řízeného větrání s rekuperací tepla. Z grafů je také patrné zlepšení vnitřního prostředí s užitím systému řízeného větrání s rekuperací tepla. Z porovnávací Tabulky 19 lze vyčíst naměřenou střední hodnotu CO₂ bez řízeného větrání 1 560 ppm (v extrému však až 2 579 ppm), ale při aplikaci systému je to jen 1 067 ppm během 24 hodin. V grafech 7 10a 8 jsou vyznačeny hraniční hodnoty dle Tabulky 3. Ale i při užití řízeného větrání maximální hodnota CO₂ překročila maximální doporučenou hodnotou 1 500 ppm v noci až o 180 ppm. Jednoduchým řešením tohoto překračování je stejně jako u objektu ve Vnoři instalace čidla oxidu uhličitého do měřené ložnice rodičů. Toto čidlo při překročení přednastaveného limitu CO₂ automaticky zareaguje na nastalou situaci zvýšením výkonu jednotky a tím umožní dokonalejší provětrání. Relativní vlhkost se při měřeních pohybovala v příznivých hodnotách kolem 40 %.

8.1.4 Uhříněves

Z hodnot získaných v objektu v Praze Uhříněvsi je patrné výrazné zlepšení vnitřního prostředí s užitím systému řízeného větrání s rekuperací tepla. Z porovnávací Tabulky 20 můžeme vyčíst střední hodnotu oxidu uhličitého bez řízeného větrání 2 704 ppm (v extrému však až 5 649 ppm), kdežto při aplikaci systému jen příznivých 728 ppm během 24 hodin. Hodnota 5 649 ppm dle Tabulky 3 již není zdravotně bezpečná a způsobuje u lidí nejrůznější zdravotní potíže jako bolest hlavy, zvýšený tep a nevolnost. V grafech 9 a 10 jsou také vyznačeny hraniční hodnoty dle Tabulky 3. Při užití řízeného větrání maximální hodnota CO₂ nepřekročila maximální doporučenou hodnotou 1 500 ppm a vyšplhala se pouze na hodnotu 1 130 ppm. Hodnoty relativní vlhkosti bez řízeného větrání se pohybovaly u horní hranice doporučených hodnot. Při použití

řízeného větrání se podařilo hodnoty snížit k dolní hranici těchto doporučených hodnot.

8.1.5 Pankrác

V bytě v panelovém domě v Praze na Pankráci jsme se zaměřili na kvalitu vnitřního prostředí s použitím mikroventilace oken a bez ní. Při porovnání grafů je na první pohled vidět zlepšení vnitřního prostředí s použitím mikroventilace oknem. Z porovnávací Tabulky 21 můžeme vyčíst střední hodnotu oxidu uhličitého bez větrání 2 290 ppm (v extrému však až 5 246 ppm) a při větrání mikroventilací 1 235 ppm během 24 h. V Grafech Graf 11 a 12 jsou vyznačeny hraniční hodnoty dle Tabulky 3. Při použití mikroventilace hodnota CO₂ překročila maximální doporučenou hodnotou 1 500 ppm v noci až o 397 ppm. Při větrání mikroventilací klesla průměrná pokojová teplota o cca 2 °C. Relativní vlhkost se při obou měřeních držela v ideálních hodnotách kolem 45 %.

Pozn.: Měření probíhalo v měsíci březnu, kdy venkovní teploty měřenou noc neklesly pod 5 °C. V zimním období s výraznějším rozdílem interiérové a exteriérové teploty by tedy tepelné ztráty byly znatelně vyšší.

8.2 Celkové vyhodnocení

V celkovém vyhodnocení se práce zaměří hlavně na hodnoty oxidu uhličitého, které jsou hlavním ukazatelem kvality vnitřního prostředí, dále pak i na hodnoty relativní vlhkosti.

Absolutní tlak, který byl změřený ve všech testovaných místnostech se odlišuje od průměrného tlaku v České republice, uvedeného v kapitole 4.2.4, maximálně o 16 hPa. Člověk není schopen tento rozdíl zaznamenat, proto lze říci, že je takovýto rozdíl zanedbatelný. Naměřené hodnoty tlaku jsou v souladu s průměrnou hodnotou.

Průměrné hodnoty teploty vzduchu ve sledovaných objektech se pohybují v limitních hodnotách. Tepelná pohoda je spíše záležitostí individuálního vnímání a individuální pohody, proto nebudeme tuto veličinu dále posuzovat.

8.2.1 Oxid uhličitý

V Tabulce 22 je vidět znatelný rozdíl v měřeních bez řízeného větrání mezi stavbami na bázi dřeva a zděnou či panelovou stavbou. Citelný rozdíl je vidět jak v maximální dosažené hodnotě CO₂, kde bylo naměřeno u dřevostaveb o cca 3 000 ppm méně, tak i průměrné hodnoty za celých 24 hodin vyšly lépe u dřevostaveb a to o cca 1 000 ppm méně. Nicméně ani u jednoho pozorovaného objektu nedosáhly hodnoty přijatelných limitů dle Tabulky 3 bez zapnutého systému řízeného větrání.

Tabulka 22 Porovnání hodnot CO₂ v měřených objektech bez řízeného větrání

místo	CO ₂ [ppm]				
	S. Vestec	Vinoř	Květnice	Uhříněves	Pankrác
min. hodnota	-	883	524	599	682
max. hodnota	-	2392	2579	5649	5246
střední hodnota	-	1817	1560	2704	2290
standard.odchylka	-	383	674	1676	1288

Při užití řízeného větrání (u panelového domu s mikroventilací) byly dle Tabulky 23 v průměru naměřeny u všech objektů přijatelné hodnoty CO₂. Nejlépe vychází měření v Uhříněvsi a ve Starém Vestci a to jak v průměrném měření, tak i s ohledem na maximální hodnoty. Tato měření vyhověla limitním hodnotám koncentrace CO₂ v obytných prostorech. Do objektů ve Vinoři a Květnici by bylo vhodné nainstalovat do ložnic čidla CO₂, která by reagovala na zvýšenou koncentraci oxidu uhličitého v ranních hodinách. Větrání pouze pomocí mikroventilace v panelovém domě na Pankráci se ukázalo jako nedostatečné.

Tabulka 23 Porovnání hodnot CO₂ v měřených objektech s řízeným větráním

místo	CO ₂ [ppm]				
	S. Vestec	Vinoř	Květnice	Uhříněves	Pankrác
min. hodnota	590	708	561	448	565
max. hodnota	1035	1714	1680	1130	1897
střední hodnota	830	1004	1067	728	1235
standard.odchylka	148	338	417	240	397

8.2.2 Relativní vlhkost

Relativní vlhkost se v měřených objektech pohybovala v optimálních mezích i bez systému řízeného větrání viz Tabulka 24. U objektu ve VINOŘI byl požadavek zvýšit použitím větrání relativní vlhkost a v UHŘÍNĚVSI naopak snížit. Obojí se za pomoci řízeného větrání s rekuperací tepla podařilo díky vlastnostem použitých jednotek. Z Tabulky 25 je patrné, že při měření s řízeným větráním se zpětným získáním tepla se hodnoty relativní vlhkosti pohybují v požadovaných limitech, viz kapitola 4.2.3.

Tabulka 24 Porovnání relativní vlhkosti v měřených objektech bez řízeného větrání

místo	%rH				
	S. Vestec	Vinoř	Květnice	Uhříněves	Pankrác
min. hodnota	-	27,1	31,6	36,2	33,0
max. hodnota	-	46,3	54,5	69,1	52,9
střední hodnota	-	38,9	45,6	52,8	44,2
standard.odchylka	-	3,4	5	11,1	4,3

Tabulka 25 Porovnání relativní vlhkosti v měřených objektech s řízeným větráním

místo	%rH				
	S. Vestec	Vinoř	Květnice	Uhříněves	Pankrác
min. hodnota	33,9	33,1	38,8	25,0	41,4
max. hodnota	44,3	49,8	50,1	37,9	50,0
střední hodnota	36,2	40	44,3	32	45
standard.odchylka	1,3	3,3	3,6	2,9	1,7

9. Závěr a zhodnocení

Diplomová práce se zabývá parametry vnitřního prostředí v interiéru obytných budov. V první části diplomové práce jsou uvedeny požadavky na kvalitu vnitřního prostředí s ohledem na normativní, uživatelské i ekonomické požadavky.

V druhé části se diplomová práce zabývá rozdělením a popsáním základních druhů větrání užívaných v rodinných domech. Práce se poté zaměřuje detailněji na rovnotlaké větrání se zpětným ziskem tepla. Právě tento druh větrání se zpětným ziskem tepla je totiž nejčastějším typem využívaného systému řízeného větrání v rodinných domech. Jsou zde uvedena kritéria pro návrh větracího systému jak dle legislativních požadavků na přívod čerstvého vzduchu, tak dle technických požadavků na rozvody vzduchu.

Třetí část diplomové práce se zabývá průzkumem hlavních výrobců pasivních rekuperačních jednotek aktuálně dostupných na českém trhu. U každého z vybraných výrobců jsou uvedeny základní jednotky užívané pro běžné RD a to s kapacitou větrání 150 – 400 m³/h bez podstropních variant. Výrobky jsou zaneseny v tabulce, ze které lze vyčíst jejich technické údaje a aktuální cenu k příslušnému datu bez DPH.

Ve srovnávací analýze je porovnáno pět sledovaných objektů. Jedná se o tři dřevostavby, jednu zděnou stavbu a byt v panelovém domě z důvodu zajímavého porovnání s dnešní nízkoenergetickou výstavbou a v neposlední řadě zjištění vlivu mikroventilace. V každém z objektů proběhla dvě měření po dobu 24 hodin, která sledovala hodnotu CO₂, vlhkosti, teploty a tlaku. K výzkumu byl použit přístroj testo 435 – 2 s externí sondou IAQ. Hodnoty z prvních měření reprezentují podmínky vnitřního prostředí bez systému řízeného větrání se zpětným ziskem tepla, pouze v domě ve Starém Vestci se měření zaměřilo na vliv výměny filtrů a probíhalo tedy se starými filtry. Hodnoty druhého měření reprezentují podmínky vnitřního prostředí s použitím řízeného větrání respektive nového filtru v jednotce řízeného větrání. Výsledky obou měření pro každý z objektů jsou uvedeny v tabulkách a názorně vyobrazeny v grafech. V každém z grafů jsou vyznačeny limitní hodnoty CO₂ a to 1 000 ppm jako doporučená úroveň ve vnitřních

prostorách a 1 500 ppm, kterou dle Vyhlášky Ministerstva pro místní rozvoj č. 20/2012 Sb. nesmí hodnota CO₂ překročit.

V kapitole vyhodnocení jsou okomentovány výsledky měření jednotlivých objektů a případně doporučeny opatření k jejich zlepšení. Pro vyhodnocení kvality vnitřního prostředí posloužily především hodnoty oxidu uhličitého, které jsou hlavním ukazatelem kvality vnitřního prostředí.

V celkovém porovnání bez řízeného větrání nevyhověl žádný z domů limitním hodnotám CO₂. U objektů v Praze Uhříněvsi a Pankráci byl tento limit překročen až několikanásobně. Výrazně hůře tedy dopadly výsledky zděné stavby a panelového bytu než výsledky dřevostaveb.

Při použití řízeného větrání s rekuperací tepla nejlépe dopadl objekt ve Starém Vestci a Uhříněvsi. U objektů ve VINOŘI a Květnici byly hodnoty CO₂ lehce nadlimitní, tento problém lze však vyřešit instalací čidel CO₂. U panelového bytu bylo shledáno větrání pomocí mikroventilace na okně jako nedostatečné. Při porovnání výsledků ve Starém Vestci nebyl shledán podstatný vliv na hlavní sledované hodnoty při výměně filtrů.

Každý prostor, kde se zdržují lidé, musí být pro zajištění zdravotně nezávadného prostředí větratelný a dostatečně větráný. Dochází masivně k výměně starých oken za okna nová, zcela těsná, která však maximálně omezují přirozené větrání prostorů infiltrací, ale jiný systém větrání se při výměně oken již bohužel neřeší. Kvalita prostředí v současných utěsněných objektech je většinou velmi špatná, ať už se jedná o vysoké koncentrace CO₂, vysokou vlhkost vzduchu doprovázenou růstem plísní či naopak přesušování vzduchu. Jediným důvodem je zde nedostatečné větrání takto utěsněných prostor.

Vytvoření kvalitního vnitřního mikroklimatu je jistě oblast, kterou je nutné se podrobně zabývat. Nízkoenergetické a pasivní domy mají výhodu oproti běžným domům a to díky výborným tepelně-izolačním vlastnostem konstrukcí a účinnému nucenému větrání. Optimalizovaný návrh založený na zkušenostech a precizním provedení zabezpečí uživatelům vynikající kvalitu vnitřního prostředí.

Seznam použité literatury

ČSN EN 15665/Z1 Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov. Úřad pro normalizaci, měření a státní zkušebnictví. Praha 2011.

HAZUCHA, Juraj a Jan BÁRTA. Nucené větrání s možností rekuperace odpadního tepla v objektech pro vzdělávání. Praha: Státní fond životního prostředí ČR, 2010. ISBN 978-80-260-0699-2

HRBATA, J. Návrh větracího systému rodinného domu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 88 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Fišer.

HUMŇAL, Tomáš. Porovnání pořizovacích a provozních nákladů ventilačních systémů. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2011. Vedoucí diplomové práce Ing. Michal Procházka

KREJCI, Petr. Rekuperační výměníky tepla. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2009. 64 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Hana Doležilková, Ph.D.

KULHÁNEK, František. Nízkoenergetické a pasivní domy: návrh a realizace: komplexní zpracování problematiky se zaměřením na moderní a ekologická řešení. Praha: Dashöfer, 2012. ISSN 1803-6821.

JOKL, Miloslav. Zdravé obytné a pracovní prostředí. 1. vyd. Praha: Academia, 2002. 261 s. ISBN 80-200-0928-0.

MAREČEK, Jan. Pozemní stavitelství III. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R. ISBN 978-80-248-1470-4.

SMOLA, Josef a Jiří ŠÁLA. Nízká energetická náročnost budov a její zajištění ve výstavbě. 2012. vyd. Centrum pasivního domu, 2012, 21 s.

VESELÝ, Jaroslav a Lubomír MIKŠ. Technické požadavky na výstavbu: odborný výklad aktuálních stavebně-technických předpisů a norem pro stavební praxi ;

Základní dílo 19. aktualizace - únor 2012. Praha: Dashöfer, c2012, 2 sv. (na volných l.). ISBN 1802-5242.

ZMRHAL V., DRKAL F. Zpracování národní přílohy k ČSN EN 15665 – rozbor požadavků na větrání v obytných budovách. Zpráva k rozborovému úkolu č. 12/0010/10. Praha. 2010

ZMRHAL, Vladimír. Větrání rodinných a bytových domů. 1. vyd. Praha: Grada, 2014, 93 s. Profi. ISBN 978-80-247-4573-2.

Seznam elektronických pramenů

ATREA. Filtrace vzduchu [online]. 2014 [cit. 22.2.2014]. Dostupné z: <http://www.atrea.cz/cz/filtrace-vzduchu>

CZECH PAN. Vzorový dům [online]. 2013 [cit. 10.3.2014]. Dostupné z: <http://www.czechpan.cz>

DOLEŽÍLKOVÁ H. Bytové větrání ve vztahu k produkci CO₂, vlhkosti a škodlivin (II), 2006 zdroj: www.tzb-info.cz

ELEKTRODESIGN. Rozvody vzduchu [online]. 2013 [cit. 25.2.2014]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz>

GREENER FUTURE SOLUTIONS. Kvalita vnitřního prostředí [online]. 2013 [cit. 10.1.2014]. Dostupné z: <http://www.harmonyhouse.cz/>

HABEL, Tomáš. Vnitřní povrchová teplota výplní otvorů – souvislosti s vnitřním prostředím budov. In: Vnitřní povrchová teplota výplní otvorů – souvislosti s vnitřním prostředím budov [online]. 2012. vyd., 2012 [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/9262-vnitri-povrchova-teplota-vyplni-otvoru-souvislosti-s-vnitrim-prostredim-budov>

HAZUCHA, Juraj. Kvalita vnitřního prostředí: Mikrobi. In: Kvalita vnitřního prostředí: Mikrobi [online]. Brno: Centrum pasivního domu, 2009 [cit. 2014-02-14]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/pasivni-dum/vnitri-prostredi-domu/kvalita-vnitriho-prostredi.html?chapter=mikrobi>

HAZUCHA, Juraj. Kvalita vnitřního prostředí: Řešení radonové zátěže – řízené větrání. In: Vůně a zápachy [online]. 2009. vyd. Brno: Centrum pasivního domu, 2009 [cit. 2014-02-14]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/pasivni-dum/vnitri-prostredi-domu/kvalita-vnitriho-prostredi.html?chapter=reseni-radonove-zateze-rizene-vetrani>

HAZUCHA, Juraj. Kvalita vnitřního prostředí: Vůně a zápachy. In: Vůně a zápachy [online]. 2012. vyd. Brno: Centrum pasivního domu, 2012 [cit. 2014-02-14]. Dostupné z: http://www.pasivnidomy.cz/files/Infolisty/07_Vnitri_prostredi.pdf

KAREL, Kabele. Světlo, teplo, vzduch z pohledu vnitřního prostředí budovy [online]. 2013 [cit. 16.11.2013]. Dostupné z: www.cklop.cz2013imageskabelekarel.pdf

KREJSOVÁ, Jana. Pilotní měření CO₂, relativní vlhkosti a dalších veličin v učebnách VOŠ Volyně. In: *Pilotní měření CO₂, relativní vlhkosti a dalších veličin v učebnách VOŠ Volyně* [online]. 2013. vyd., 2013 [cit. 2014-02-14]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/10184-pilotni-mereni-co2-relativni-vlhkosti-a-dalsich-velicin-v-ucebnach-vos-volyne>

LAIN, Miloš. ČVUT. Vzduchotechnika. 2009. vyd. ČVUT, 2009, 132 s. Dostupné z: http://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/VZT/Vzduchotechnika.pdf

LAIN, Miloš. Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci [online]. 2006 [cit. 15.1.2014]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3648-zpetne-ziskavani-tepla-ve-ventrani-a-klimatizaci>

MATHAUSEROVÁ, Zuzana. Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí budov - mikroklimatické podmínky a větrání. Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí budov - mikroklimatické podmínky a větrání [online]. 2009, č. 1 [cit. 2013-11-18]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-ventrani-klimatizace/5593-pozadavky-na-kvalitu-vnitriho-prostredi-budov-mikroklmaticke-podminky-a-ventrani>

MULTI-VAC. Rozvody vzduchu [online]. 2013 [cit. 25.2.2014]. Dostupné z: <http://www.multivac.cz/>

ODEHNAL, Lubomír. OCHRANA STAVEB PROTI RADONU Z PODLOŽÍ - REVIZE ČSN 73 0601. In: OCHRANA STAVEB PROTI RADONU Z PODLOŽÍ - REVIZE ČSN 73 0601 [online]. 2013 [cit. 2014-02-14]. Dostupné z: <http://stavebnikomunita.cz/profiles/blogs/ochrana-staveb-proti-radonu-z-podlozi-revize-csn-73-0601>

PAPEŽ, Karel a Michal KABRHEL. Kvalita vnitřního prostředí [online]. 2005. vyd. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov Thákurova

7, 166 29 Praha 6 - Dejvice, 2005[cit. 2013-11-18]. Dostupné z: http://www.udrzitelnavystavba.cz/workshop2005/02-Papez_Kabrhel.pdf

PASIVNÍ DOMY. Kvalita vnitřního prostředí [online]. 2013 [cit. 23.11.2013]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/pasivni-dum/vnitri-prostredi-domu/kvalita-vnitriho-prostredi.html?chapter=hodnoceni-kvality-vnitriho-prostredi>

PAUL. Klasické větrání v porovnání s řízeným větráním s rekuperací tepla [online]. 2007 [cit. 15.1.2014]. Dostupné z: <http://www.paul-rekuperace.cz/srovnani>

RADONTEST. Radon a geologické podloží [online]. 2013 [cit. 22.2.2014]. Dostupné z: <http://www.iradontest.cz/radon-a-geologicke-podlozi.html>

THERMWET. Schéma proudění [online]. 2009 [cit. 24.2.2014]. Dostupné z: <http://www.thermwet.cz>

VAVERKA, Jiří. Akustika dřevostaveb. Tzb info [online]. 2008 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4776-akustika-drevostaveb>

Seznam obrázků

Obrázek 1 Radonový štítek budovy (Odehnal, 2013).....	19
Obrázek 2 Schématická geologická mapa České republiky s mírou radonové zátěže (Radontest, 2013).....	20
Obrázek 3 Rozdělení větracích strategií (Hazucha, Bárta, 2010)	27
Obrázek 4 Porovnání potřeby tepla při větrání okny a s rekuperací (Paul, 2007) .	29
Obrázek 5 Tepelně izolované ohebné hliníkové hadice (Multi-Vac, 2013).....	35
Obrázek 6 Ploché plastové potrubí (Elektrodesign, 2013)	35
Obrázek 7 Ploché plechové potrubí (Elektrodesign, 2013)	35
Obrázek 8 Spiro potrubí (Multi-Vac, 2013).....	35
Obrázek 9 ED Flex (Elektrodesign, 2013).....	35
Obrázek 10 Schéma cirkulace vzduchu v RD (ThermWet, 2009)	37
Obrázek 11 Rozdělení rekuperačních výměníků (Kulhánek, 2012)	41
Obrázek 12 Princip křížového deskového výměníku (Lain, 2006).....	42
Obrázek 13 Princip protiproudého deskového výměníku (Lain, 2006)	42
Obrázek 14 Měřicí přístroj testo 435 - 2 se sondou IAQ	51
Obrázek 15 Měřený objekt Starý Vestec (Czech Pan, 2013)	52
Obrázek 16 Staré a nové filtry.....	54
Obrázek 17 Měřený objekt Vinoř.....	56
Obrázek 18 Měřený objekt Květnice	60
Obrázek 19 Měřený objekt Uhřetěves.....	64
Obrázek 20 Měřený objekt Pankrác.....	68

Seznam tabulek

Tabulka 1 Doporučené teploty pro obytné stavby (Greener future solutions, 2013)	14
Tabulka 2 Produkce vlhkosti (Mathauserová, 2009)	16
Tabulka 3 Účinky CO ₂ na lidský organismus (Mathauserová, 2009).....	17
Tabulka 4 Přehledová tabulka tříd filtrace (Atrea, 2014)	22
Tabulka 5 Požadavky na větrání objektu (ČSN EN 15665/Z1, 2011).....	39
Tabulka 6 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Air Pohoda s.r.o.....	44
Tabulka 7 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Atrea s.r.o.....	45
Tabulka 8 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Brink Climate Systems	45
Tabulka 9 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Lifebreath	46
Tabulka 10 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Nibe	47
Tabulka 11 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Nilan s.r.o.	47
Tabulka 12 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Paul	48
Tabulka 13 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Regulus spol. s.r.o.....	48
Tabulka 14 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Soler and Palau.....	49
Tabulka 15 Pasivní rekuperační jednotky pro RD Stiebel Eltron spol. s.r.o	49
Tabulka 16 Pasivní rekuperační jednotky pro RD ThermWet s.r.o.....	50
Tabulka 17 Porovnávací tabulka Starý Vestec.....	52
Tabulka 18 Porovnávací tabulka Vinoř.....	56
Tabulka 19 Porovnávací tabulka Květnice	60
Tabulka 20 Porovnávací tabulka Uhříněves.....	64
Tabulka 21 Porovnávací tabulka Pankrác.....	68
Tabulka 22 Porovnání hodnot CO ₂ v měřených objektech bez řízeného větrání ..	75
Tabulka 23 Porovnání hodnot CO ₂ v měřených objektech s řízeným větráním	75
Tabulka 24 Porovnání relativní vlhkosti v měřených objektech bez řízeného větrání	76
Tabulka 25 Porovnání relativní vlhkosti v měřených objektech s řízeným větráním	76

Seznam grafů

Graf 1 Procentuální rozložení prostředí, ve kterém se lidé pohybují během dne. (Kabele, 2013).....	10
Graf 2 Diagram vlivu teploty a relativní vlhkosti na komfort a případná rizika zhoršení vnitřního prostředí (Pasivní domy, 2013).....	15
Graf 3 Průběh měření ve Starém Vestci - staré filtry.....	53
Graf 4 Průběh měření ve Starém Vestci - nové filtry.....	55
Graf 5 Průběh měření ve VINOŘI - bez řízeného větrání.....	57
Graf 6 Průběh měření ve VINOŘI - řízené větrání.....	59
Graf 7 Průběh měření v Květnici - bez řízeného větrání.....	61
Graf 8 Průběh měření v Květnici - řízené větrání.....	63
Graf 9 Průběh měření v Uhříněvsi - bez řízeného větrání.....	65
Graf 10 Průběh měření v Uhříněvsi - řízené větrání.....	67
Graf 11 Průběh měření na Pankráci - bez větrání.....	69
Graf 12 Průběh měření na Pankráci - větrání mikroventilací.....	71

Seznam použitých zkratk

aj.	a jiné
cca	přibližně
ČSN	Československá státní norma
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze
ČZU	Česká zemědělská univerzita v Praze
RH	relativní vlhkost vzduchu
IAQ	Indoor Air Quality
pozn.	poznámka
RD	rodinný dům
s.r.o.	s ručením omezeným
např.	například
SDK	sádrokarton
Tj.	to je

Přílohy

Příloha č. 1

Protokol 1 Starý Vestec – staré filtry
Graf 1 Starý Vestec – staré filtry

Příloha č. 2

Protokol 2 Starý Vestec – nové filtry
Graf 2 Starý Vestec – nové filtry

Příloha č. 3

Protokol 3 Vnoř – bez řízeného větrání
Graf 3 Vnoř – bez řízeného větrání

Příloha č. 4

Protokol 4 Vnoř – řízené větrání
Graf 4 Vnoř – řízené větrání

Příloha č. 5

Protokol 5 Květnice – bez řízeného větrání
Graf 5 Květnice – bez řízeného větrání

Příloha č. 6

Protokol 6 Květnice – řízené větrání
Graf 6 Květnice – řízené větrání

Příloha č. 7

Protokol 7 Uhříněves – bez řízeného větrání
Graf 7 Uhříněves – bez řízeného větrání

Příloha č. 8

Protokol 8 Uhříněves – řízené větrání
Graf 8 Uhříněves – řízené větrání

Příloha č. 9

Protokol 9 Pankrác – bez větrání
Graf 9 Pankrác – bez větrání

Příloha č. 10

Protokol 10 Pankrác – větrání mikroventilací
Graf 10 Pankrác – větrání mikroventilací