

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Větrací systémy se zpětným získáváním  
tepla pro rodinné domy**

diplomová práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Kic, DrSc.

Autor práce: Bc. Štěpán Matoušek

PRAHA 2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Štěpán Matoušek

Procesní inženýrství  
Technologická zařízení staveb

Název práce

**Větrací systémy se zpětným získáváním tepla pro rodinné domy**

Název anglicky

**Ventilation systems with heat recovery for family houses**

---

### Cíle práce

Cílem diplomové práce je provést rozbor a zhodnocení vlivu větracích systémů se zpětným získáváním tepla na vnitřní prostředí rodinných domů. Zaměřit se především na posouzení spotřeby energie a dodržení potřebných hygienických parametrů pohody prostředí v reálných podmínkách.

Na základě poznatků z literatury i vlastních měření a výpočtů posoudit funkci větracích systémů a zařízení se zpětným získáváním tepla v rodinných domech včetně ekonomického zhodnocení.

### Metodika

Úvod

Cíl práce

Současný stav sledované problematiky

Metodika práce

Výsledky a diskuse

Závěr a doporučení

Seznam použitých zdrojů

Přílohy

## **Doporučený rozsah práce**

40 – 60 stran textu

## **Klíčová slova**

Čistota vzduchu; energie; klimatizace; rekuperace; tepelná bilance; vytápění

---

## **Doporučené zdroje informací**

Časopisy: Vytápění, větrání, instalace. Klimatizace.

Nový, R. et al: Technika prostředí. ČVUT, Praha, 2000, 265 s.

Petráš, D. et al.: Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie. Bratislava 2008, 207 s.

Počinková, M.- Čuprová, D.- Rubinová, O: Úsporný dům. Computer press, Brno 2012. 184 s.

Székyová, M.-Ferstl, K.-Nový, R.: Větrání a klimatizace. JAGA, Bratislava 2006, 359 s.

Treuová, L.-Počinková, M.: Vytápění. Computer press, Brno 2011. 151 s.

Tywoniak, J.: Nízkoenergetické domy 3. Nulové, pasivní a další. Grada, Praha, 2012, 195 s.

---

## **Předběžný termín obhajoby**

2019/2020 LS – TF

## **Vedoucí práce**

prof. Ing. Pavel Kic, DrSc.

## **Garantující pracoviště**

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 3. 3. 2020

**doc. Ing. Jan Malaták, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 6. 3. 2020

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 19. 04. 2020

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Větrací systémy se zpětným získáváním tepla pro rodinné domy dům vypracoval samostatně a čerpal jen z pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uchována v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o autorském právu, o právech souvisejících s autorským právem a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne .....

.....

Bc. Štěpán Matoušek

#### Poděkování:

Na tomto místě bych velice rád poděkoval prof. Ing. Pavlovi Kicovi, DrSc. za odborné vedení, cenné rady, připomínky a čas, které mi poskytl při vypracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům společnosti ThermWet s.r.o., jmenovitě Ing. Janu Grendelovi, Ing. Janu Kropáčkovi a Eriku Honzákovi, za odborné konzultace, poskytnutí podkladů k vypracování této diplomové práce a věnovaný čas. V neposlední řadě bych rád poděkoval panu Petrovi Matouškovi za odborné konzultace a věnovaný čas.

## **Abstrakt a klíčová slova**

**Abstrakt:** Tato diplomová práce se zaměřuje na zhodnocení vlivu větracích systémů se zpětným získáváním tepla na vnitřní prostředí rodinných domů. V úvodní části se práce věnuje problematice kvality vnitřního prostředí a větracím systémům pro rodinné domy. V další části se pak zabývá samotným měřením. Sledovány byly hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub> a relativní vlhkosti vzduchu ve vnitřním prostředí se systémem řízeného rovnotlakého větrání. Měření probíhalo ve vybraných místnostech tří rodinných domů při reálných provozních podmínkách. Výsledky měření jsou porovnávány s legislativními a normovými hodnotami i výsledky měření jiných autorů. Dále bylo provedeno měření zaměřující se na roční provozní náklady rekuperační jednotky, na základě kterého byl proveden výpočet prosté doby návratnosti dané investice.

**Klíčová slova:** zpětné získávání tepla, rekuperační jednotka, rodinné domy, vnitřní prostředí

## **Ventilation systems with heat recovery for family houses**

**Summary:** This thesis is focused on the assessment of the effect of ventilation systems with heat recovery on the indoor environment of family houses. In the introductory part the work deals with the issue of indoor environment quality and ventilation systems for family houses. In the next part deals with the measurement itself. The values of CO<sub>2</sub> concentration and relative humidity of air in indoor environment with the system of controlled ventilation were monitored. All measurements were carried out in selected rooms of three family houses under real operating conditions. The results of the measurements are compared with the legislative and normative values as well as with the results of measurements from other authors. Furthermore, measurement focused on the annual operating costs of the ventilation unit was carried out. Based on this, a simple payback period of the investment was calculated.

**Key words:** heat recovery, recuperation unit, family houses, indoor environment

## Obsah

1	Úvod.....	10
2	Cíle práce .....	12
3	Kvalita vnitřního prostředí budov .....	13
3.1	Interní mikroklima .....	13
3.1.1	Tepelně-vlhkostní .....	13
3.1.2	Odérové.....	15
3.1.3	Aerosolové .....	15
3.1.4	Toxické .....	16
3.1.5	Ionizační.....	16
3.1.6	Mikrobiální .....	17
3.1.7	Akustické .....	17
3.1.8	Světelné.....	18
3.2	Hlavní znečišťující látky z vnitřního prostředí .....	18
3.3	Hlavní znečišťující látky z venkovního prostředí .....	21
3.4	Legislativa, normy a nařízení .....	21
3.4.1	Zákony .....	21
3.4.2	Prováděcí předpisy.....	22
3.4.3	Normy .....	22
4	Větrání rodinných domů .....	23
4.1	Způsoby větrání.....	23
4.1.1	Přirozené větrání .....	23
4.1.2	Nucené větrání .....	24
4.1.3	Zpětné získávání tepla .....	25
4.2	Požadavky na větrání .....	26
4.2.1	Pettenkoferovo kritérium .....	26

4.2.2	Intenzita větrání .....	27
4.2.3	Národní požadavky na větrání obytných budov .....	27
4.2.4	Normativní požadavky na větrání obytných budov .....	27
5	Prvky větracích systémů pro rodinné domy .....	29
5.1	Větrací jednotky se zpětným získáváním tepla .....	29
5.1.1	Lokální větrací jednotky .....	29
5.1.2	Centrální větrací jednotky .....	30
5.2	Tepelné výměníky .....	33
5.2.1	Rekuperační výměníky tepla .....	33
5.2.2	Regenerační výměníky tepla .....	35
5.3	Vzduchovody .....	37
5.3.1	Větvení vzduchovodů .....	37
5.3.2	Typy vzduchovodů pro rodinné domy .....	38
5.4	Vzduchové filtry .....	38
6	Měření .....	40
6.1	Metodika měření .....	40
6.1.1	Měření vybraných parametrů vnitřního prostředí .....	40
6.1.2	Měření provozu rekuperační jednotky .....	42
6.2	Ekonomické zhodnocení .....	43
6.2.1	Investiční a provozní náklady .....	43
6.2.2	Náklady na pokrytí tepelné ztráty větráním .....	44
6.2.3	Prostá doba návratnosti .....	46
6.3	Charakteristika měřených objektů .....	46
6.3.1	Prvky měřených větracích systémů .....	46
6.3.2	Rodinný dům Praha .....	49
6.3.3	Řadový rodinný dům Středočeský kraj .....	51



6.3.4	Rodinný dům kraj Vysočina – Bárta.....	52
7	Výsledky a diskuse .....	55
7.1	Výsledky měření RD Praha.....	55
7.2	Výsledky měření RD Středočeský kraj .....	57
7.3	Výsledky měření RD kraj Vysočina .....	58
7.4	Ekonomické zhodnocení .....	60
7.5	Diskuse.....	65
8	Závěr a doporučení .....	69
9	Seznam použitých zdrojů.....	71
10	Přílohy.....	78

# 1 Úvod

Podstatná část lidského života se odehrává ve vnitřním prostředí budov, a ačkoliv se přesná délka liší, vždy v něm člověk tráví přibližně třetinu každého dne pouhým odpočinkem a spánkem. Kvalitu vnitřního prostředí neovlivňují jen vlastnosti budovy a její technické vybavení, ale má na ní podstatný vliv i člověk a jeho činnost. Je prokázáno, že vnitřní prostředí, ve kterém se člověk nachází, má přímý vliv na jeho psychický i fyzický stav. Ukazuje se, že s nedostatečnou kvalitou vnitřního prostředí souvisí až polovina všech nemocí. [1]

Jedním ze základních parametrů kvality vnitřního prostředí s prokazatelným vlivem na lidské zdraví je kvalita ovzduší. Vnitřní ovzduší je zatíženo znečišťujícími látkami, uvolňujícími se například ze stavebních materiálů, vybavení budovy, ale i z povrchu osob a jejich činností. Hlavním způsobem, jak snížit koncentrace těchto látek, a tím zajistit potřebnou kvalitu vnitřního ovzduší, je dostatečné větrání, tedy přívod čerstvého a odvod znečištěného vzduchu.

V dnešní době je kladen velký důraz na snižování spotřeby energie za každou cenu. Toho je u budov docíleno především důkladným zateplením a použitím oken s vícestupňovým těsněním, což má za následek téměř dokonalé utěsnění celé budovy. Tím je téměř zabráněno, dříve zcela běžnému, přirozenému větrání pomocí infiltrace okenními spárami a stavební konstrukcí. V případě, že tomu není přizpůsobeno i řešení větrání, může docházet k významnému zhoršení kvality vnitřního ovzduší s negativním vlivem na stavební konstrukce i uživatele domu.

Ačkoliv velká část moderních oken umožňuje i režim tzv. mikroventilace, okna tím ztrácejí svou funkci při útlumu hluku zvenčí a mají za následek nekontrolovatelné tepelné ztráty. Obdobné problém nastávají i při větrání přerušovaným otevíráním oken. Obě tyto metody navíc nelze považovat za systém trvalého větrání, vzhledem ke své závislosti na chování člověka. Zejména v průběhu noci se systematické otevírání oken nejeví příliš reálně.

Jako řešení těchto problémů se jeví systémy nuceného větrání se zpětným získáváním tepla, které se u rodinných domů začaly hojně využívat zejména s příchodem nové generace výstavby v podobě nízkoenergetických – pasivních domů. V dnešní době se tak tyto systémy stávají již nedílnou součástí energeticky úsporného řešení.

Právě problematice systémů nuceného větrání se zpětným získáváním tepla se bude věnovat tato diplomová práce. Snahou bude posouzení vlivu systému nuceného větrání na vybrané parametry vnitřního prostředí v reálných podmínkách rodinných domů. Vzhledem k reálným podmínkám bude zohledněn i vliv uživatele na provoz větracího systému, a to posouzením vybraných způsobů řízení pro měřené systémy a případných rozdílů mezi nimi. Posuzován bude i ekonomický aspekt celého systému, roční úspora i celková výhodnost investice, v porovnání s větráním přirozeným.

V následujících kapitolách bude nejprve přiblíženo vnitřní prostředí, jeho jednotlivé části a nároky na ně. Dále budou rozebrány způsoby větrání pro rodinné domy a požadavky na návrh větrání. Na závěr teoretické části budou rozebrány jednotlivé prvky větracích systémů. Následovat bude praktická část, kde budou popsána jednotlivé měřené objekty, průběh měření a následné výsledky, které budou diskutovány. Na závěr proběhne celkové zhodnocení provedených měření a doporučení pro provoz daných systémů.

## **2 Cíle práce**

Cílem diplomové práce je provést rozbor a zhodnocení vlivu větracích systémů se zpětným získáváním tepla na vnitřní prostředí rodinných domů. Zaměřit se především na posouzení spotřeby energie a dodržení potřebných hygienických parametrů pohody prostředí v reálných podmínkách.

Na základě poznatků z literatury i vlastních měření a výpočtů posoudit funkci větracích systémů a zařízení se zpětným získáváním tepla v rodinných domech včetně ekonomického zhodnocení.

## **3 Kvalita vnitřního prostředí budov**

V dnešní době tráví člověk v budovách většinu svého času a jejich vnitřní prostředí má na člověka podstatný vliv. Ovlivňuje nejenom psychickou pohodu, ale i zdravotní stav. Ze strany uživatelů jsou kladena určitá očekávání na úroveň komfortu vnitřního prostředí a ochrany lidského zdraví, která nejsou zcela vždy uspokojena. Z tohoto důvodu je účelné se parametry mikroklimat budov zabývat.

Vnitřní prostředí je charakterizováno celou řadou fyzikálních, biologických a chemických parametrů, které působí na stav člověka. V obytných prostorech jsou to zejména hygienické důvody, definující požadavky na stav vnitřního prostředí z hlediska lidské potřeby. Vnitřní prostředí je soubor mnoha jevů, které dohromady vytvářejí výsledné prostředí působící na člověka. Dle jejich fyzikální či chemické podstaty mohou být děleny na následující složky: tepelně-vlhkostní, odérové, aerosolové, toxické, ionizační, mikrobiální, akustické a světelné. Subjektivně je nejvíce vnímána tepelně-vlhkostní složka, avšak s ohledem na lidské zdraví je podstatná kvalita vzduchu, která zahrnuje složku aerosolovou, toxickou, mikrobiální a odérovou. [2] [3]

### **3.1 Interní mikroklima**

#### **3.1.1 Tepelně-vlhkostní**

Základní tepelně-vlhkostní podmínky (mikroklima) vnitřního prostředí budovy je soubor několika veličin, které mají vliv na fyzický i duševní stav člověka. Jednotlivé parametry jsou optimalizovány pomocí systémů vytápění, větrání či klimatizace tak, aby se lidé v daném prostředí cítili co nejlépe – byli ve stavu tepelné pohody. Tohoto stavu je dosaženo při tepelné rovnováze člověka, což je stav, při kterém je dodržena rovnost mezi produkovaným tepelným tokem a tepelným tokem, který je tělu odnímán dýcháním, sáláním, konvekcí, vypařováním a vedením. [2] [3]

Tepelně-vlhkostní vlastnosti vnitřního prostředí lze objektivně vyjádřit teplotou vnitřního vzduchu, teplotou okolních ploch, relativní vlhkostí a rychlostí proudění vzduchu. Tepelnou pohodu člověka navíc ovlivňují i faktory, které jsou subjektivní. Mezi ně řadíme produkci tepla, v závislosti na stupni fyzické aktivity (dále ovlivněno věkem, pohlavím, zdravotním stavem a konstitucí) a tepelněizolační schopnost oděvu. Správně navrženým větracím systémem je docíleno rovnoměrné teploty ve všech výškových úrovních větraného

prostoru. V tabulce č. 1 jsou přehledně vyznačeny doporučené hodnoty jednotlivých parametrů tepelně-vlhkostního mikroklimatu pro obytné budovy. [2] [3]

Tabulka 1: Doporučené hodnoty pro parametry tepelně vlhkostního mikroklimatu [4]

Parametr		Topné období	Letní období
Operativní (výsledná) teplota $t_o$	°C	18 – 24	20 – 28
Teplota povrchu podlahy $t_p$		19 – 28	–
Rozdíl teplot ve výši 1,7 a 0,2 m		$\leq 3$	$\leq 3$
Rychlost proudění vzduchu $w_a$	m/s	$\leq 0,1$	0,1 – 0,2
Relativní vlhkost $rh_i$	%	30 – 60	30 – 60

Relativní vlhkost vzduchu  $\varphi$  ve venkovním, a tudíž i vnitřním, prostředí v průběhu roku kolísá. Dřívější doporučená hodnota relativní vlhkosti ve vnitřním prostředí bývala obvykle mezi 40 a 60 %. V této době se díky novým poznatkům doporučené hodnoty snižují, a to z důvodu nižší závažnosti důsledků nízké vzdušné vlhkosti (30 % a méně) oproti vysoké (60 % a více). Dle normy ČSN EN 15251 má relativní vlhkost vzduchu pouze malý vliv na tepelný pocit a vnímání kvality vzduch ve vnitřním prostředí. Stejná norma však uvádí i riziko dlouhodobé vysoké či velmi nízké relativní vlhkosti. Při příliš vysoké vzdušné vlhkosti dochází k vlhnutí stavebních konstrukcí a následovnému růstu plísní. Vysoká vlhkost také prospívá roztočům, na které je část populace alergická. Naopak při příliš nízké vzdušné vlhkosti okolo 20 % může docházet k podráždění očí a k vysychání sliznic. [2] [4]

Jako maximální hodnota ve vnitřním prostředí bývá obvykle doporučována hranice 70 % relativní vlhkosti. V krátkém časovém úseku lze z hygienického hlediska připustit kondenzaci vodní páry například na zasklení, nicméně na površích a uvnitř stavebních konstrukcí je kondenzace zcela nepřijatelná. Z tohoto důvodu bývají tepelně-technické výpočty obvykle realizovány pro hodnotu 50 % relativní vlhkosti vnitřního prostředí, což je zároveň uváděno jako limitní hodnota pro zvýšené riziko tvorby mikroorganismů. [2] [4]

Z důvodu zabránění kondenzaci vlhkosti jsou stanoveny nároky na povrchovou teplotu pro jednotlivé konstrukce. Stavební konstrukce a výplně otvorů musejí v každém bodě v průběhu otopného období vykazovat takovou povrchovou teplotu, aby za výpočtových podmínek nedocházelo ke kondenzaci. U současných staveb s nízkými hodnotami součinitelů prostupů tepla konstrukcí bez tepelných mostů je při adekvátní teplotě a vlhkosti riziko kondenzace minimalizováno. Vznik vlhkosti je obvykle spojen s běžnou

lidskou činností (vaření, praní, mytí, zalévání atd.). V případě, že charakter prostoru (nábytek, dřevěné podlahy atd.) nebo uživatelé vyžadují vyšší vzdušnou vlhkost, je možné použít větrací jednotku s výměníkem, který umožňuje i zpětné získávání vlhkosti. [2] [3]

Zhoršení pohody prostředí může způsobovat i proudění vzduchu. Pocit nepohody může nastat při proudění chladného vzduchu (termické proudění) nebo příliš vysoká rychlost proudění (mechanické, tlakové proudění). U velmi citlivých jedinců může nastat pocit diskomfortu již při termickém proudění s rychlostí nad 0,15 m/s. Ve vnitřním prostředí se rychlost proudění vzduchu nejčastěji pohybuje mezi 0,1 a 0,4 m/s. Proudění do 0,3 m/s je označováno jako nízké, s prakticky klidným vzduchem. [2] [3]

### **3.1.2 Odérové**

Odéry jsou plynné složky ovzduší, vnímané jako vůně nebo zápachy. Zdrojem odérů je sám člověk a jeho činnosti, nebo výpary ze stavebních prvků a nátěrů. Odéry rozeznáváme zdravotně nezávadné i toxické. Samotná vůně ani zápach sami o sobě nemají na zdraví člověka významný vliv, mohou však vyvolávat pocit diskomfortu, sníženou koncentraci a psychický stres. [2] [3]

Hlavním kritériem pro posouzení odérového mikroklimatu, ve kterém působí jako hlavní zdroj škodlivin člověk, je koncentrace oxidu uhličitého. Ačkoliv je tento plyn sám o sobě bez zápachu, jeho produkce je závislá na fyzické zátěži a jeho měření je technicky méně náročné. Z těchto důvodů slouží jako indikátor kvality ovzduší vnitřního prostředí. [2] [3]

### **3.1.3 Aerosolové**

Aerosoly jsou v ovzduší zastoupeny ve formě pevných částic (prachu) a kapalných částic (mlhy). Pevné aerosoly mají organický, anorganický nebo popřípadě smíšený původ. Vyskytují se s elektrickým nábojem kladným či záporným a jejich velikost dosahuje 0,1 až 100 mikrometrů, což ovlivňuje i rychlost jejich gravitačního usazování, které se pohybuje v rozsahu 4 sekund až 30 dnů. Hranicí respirability je velikost 10 mikrometrů. Obzvláště v zimním období se projevuje aktuální problém našeho životního prostředí, a to vysoká koncentrace prachových částic, které mohou být inertní, alergizující a toxické. V domácím prostředí bývají biologické částice menší než 1 mikrometr hlavní příčinou postižení astmatem. [3] [4]

V čistém venkovním prostředí se koncentrace prachu pohybuje od 0,05 do 0,5 mg/m<sup>3</sup>, ve znečištěném venkovním prostředí velkoměst dosahuje koncentrace prachu 1 až 3

mg/m<sup>3</sup>. Pro běžné budovy bývá uváděna přípustná hodnota koncentrace inertních pevných aerosolů do 10 mg/m<sup>3</sup>. [3] [4]

### **3.1.4 Toxické**

Toxické mikroklima tvoří toxické plyny s patologickými účinky. Mezi těmito plyny má hlavní zastoupení především oxidy síry, oxidy dusíku, oxid uhelnatý, smog, formaldehyd, ozon atd. Mezi jejich zdroje patří člověk a jeho činnost, stavební materiály a chemické přípravky, barvy, lepidla atd. Přispět k tomu může také vybavení budovy jako jsou plynové sporáky, nábytek a podlahové krytiny. [3] [4]

Zdravotně nejzávadnějším plynem je oxid uhelnatý, který vzniká hlavně nedokonalým spalováním fosilních paliv při nedostatečném přívodu, nebo špatném odtahu vzduchu. Při dlouhodobé expozici to může mít za následek až chronickou otravu s následnými poruchami paměti a psychiky. Obdobně může vznikat ve špatně větraných kuchyních s plynovými sporáky vysoká koncentrace oxidu dusičitého u kterého jsou prokázány karcinogenní účinky. Z tohoto důvodu nelze u pasivních domů doporučit instalaci plynových spotřebičů s otevřeným spalováním. [3] [4]

Koncentrace toxických plynů ve venkovním prostředí bývá velmi nízká. V návaznosti na koncentraci ve venkovním prostředí je v dnešní době klasifikováno i vnitřní prostředí budov, a to na velmi nízké, nízké a významné znečištění. To se projevuje především při výběru stavebních materiálů dle emisí škodlivin. Technicky i ekonomicky nejvýhodnějším řešením pro snížení koncentrace toxických plynů je větrání. Mezi obtížněji realizovatelné možnosti patří filtrace aktivním a ionizace vzduchu. [3] [4]

### **3.1.5 Ionizační**

Ionizační mikroklima charakterizují toky ionizujícího záření z umělých zdrojů a přírodních radionuklidů. V obytných stavbách se jedná především o vznik radioaktivních plynů ze stavebních hmot a samotného podlaží, čímž může docházet k vyšší kumulaci především ve sklepních prostorech. Hlavním představitelem je radon <sup>222</sup>Rn a jeho dceřiné produkty vzniklé jeho rozpadem. Radon sám o sobě je inertním plynem, nicméně závažné jsou především jeho dceřiné produkty, které jsou vdechovány spolu s nosnými pevnými, popřípadě kapalnými aerosoly. Ty se vdechováním dostávají do plic, kde se usazují a díky záření alfa vytváří potenciální riziko vzniku plicního karcinomu. [3]



Základní jednotkou pro objemovou aktivitu radioaktivních látek je  $1 \text{ Bq/m}^3$ , což udává jeden průměrný rozpad za sekundu vztaženo k  $1 \text{ m}^3$  látky. Jako limitní hodnota se nejčastěji užívá ekvivalentní objemová aktivita radonu (zkráceně EOAR) v interiéru. Pro novostavby činí tento limit  $100 \text{ Bq/m}^3$  vzduchu, pro stávající budovy pak  $200 \text{ Bq/m}^3$  vzduchu. [4]

Jako účinná ochrana staveb před účinky radonu se osvědčilo používání plynotěsné fólie pod základovou desku, která musí být dimenzována dle oblasti radonového rizika, a použití certifikovaných stavebních hmot. Radon je možné odstraňovat větráním. [3]

### **3.1.6 Mikrobiální**

Mikrobiální mikroklima je tvořeno mikroorganismy ovlivňujícími lidské zdraví ve vnitřním prostředí. Sledovány jsou biologické ukazatele výskytu bakterií, plísní a alergenů roztočů. Mezi hlavní nositele mikroorganismů patří kapalné a pevné aerosoly. Zvýšené nebezpečí pak představují zejména tyčinkové bakterie – legionelly, vázané na kapalné aerosoly. Ty mohou způsobovat až smrtelná zánětová onemocnění plic. U všech typů používaných filtrů dochází k zachytávání nejenom prachových částic, ale i všech druhů mikroorganismů. Při silném zanešení a případném vlhnutí dochází k jejich intenzivnímu množení a může docházet k zpětnému pronikání do větracího vzduchu. Z toho důvodu je velmi důležitá pravidelná údržba, kontrola a výměna filtrů v závislosti na typu prostředí. [3]

Kvalita mikrobiální klimatu bývá posuzována dle únosné koncentrace mikrobů. Pro obytná prostředí činí maximální únosná hodnota 200 až 500 mikrobů/ $\text{m}^3$ . Ve venkovním měst bývá koncentrace až 1500 mikrobů/ $\text{m}^3$ . Jako nejúčinnější způsob snížení mikrobiální koncentrace ve vnitřním prostředí se jeví dokonalé větrání, s přívodem kvalitního filtrovaného venkovního vzduchu. Použití chemické či fyzikální sterilace vzduchu pak může být dodatečným úkolem instalovaných vzduchotechnických zařízení. [3]

### **3.1.7 Akustické**

Člověk v dnešní době bývá hluku exponován téměř na každém kroku, zejména pak ve větších městech. V běžném obytném prostředí člověka neohrožuje překračováním hygienických limitů, nicméně jeho dlouhodobé nízké expozice mají negativní vliv na centrální nervovou soustavu což vede k narušení koncentrace i klidného spánku. Zdrojem hluku ve vnitřním prostředí bývají ve většině případů technická zařízení (ventilátory, čerpadla, kotle apod.). Hluk však může být přenášen i z venkovního prostředí, kde je

generován především všemi druhy dopravy. Z toho důvodu může být problematické přirozené větrání okny, kdy okno při otevření ztrácí svou akustickou funkci. Pro obytné budovy je doporučena hladina akustického tlaku v denní době 35 dB/A v noční době 25 dB/A. [3]

### **3.1.8 Světelné**

Světelnou složku vnitřního prostředí utváří geometrie prostoru, poloha a velikost průsvitných konstrukcí pro denní osvětlení, druhy světelných zdrojů a typy svítidel pro umělé osvětlení. Podstatný vliv má zejména hladina osvětlenosti a její prostorová rovnoměrnost. V případě podařeného návrhu těchto prvků dochází k takzvanému stavu zrakové pohody, při kterém má člověk i po delším pobytu v prostředí pocit dobrého zraku, psychické pohody a prostředí je mu vzhledově příjemné. V opačném případě dochází k narušení zrakových funkcí, což vede k oční únavě a nepříznivě se projevuje i na celkové náladě a výkonnosti člověka. [3]

## **3.2 Hlavní znečišťující látky z vnitřního prostředí**

### **Oxid uhličitý CO<sub>2</sub>**

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn bez zápachu a chuti, který se vyskytuje ve vzduchu. Koncentrace oxidu uhličitého ve venkovním prostředí závisí především na stupni urbanizace v dané lokalitě. Ve starší literatuře najdeme rozmezí hodnot 300 až 450 ppm, nicméně aktuální měření dokazují, že hodnoty pod 380 ppm se na Zemi již nevyskytují. Roční průměr koncentrace CO<sub>2</sub> za rok 2019 měřený na ostrově Mauna Loa – Havaj (dlouhodobě reprezentující čisté venkovní prostředí) byl 411,44 ppm. Zdrojem CO<sub>2</sub> jsou především metabolické a spalovací procesy. V závislosti na výšce, váze a stupně fyzické aktivity je objemový tok CO<sub>2</sub> produkovaný lidmi přibližně od 4 do 26 l/h na osobu. Nejmenší hodnota produkce odpovídá spícímu dítěti, nejvyšší pak dospělé osobě při vysokém stupni fyzické zátěže. [2]

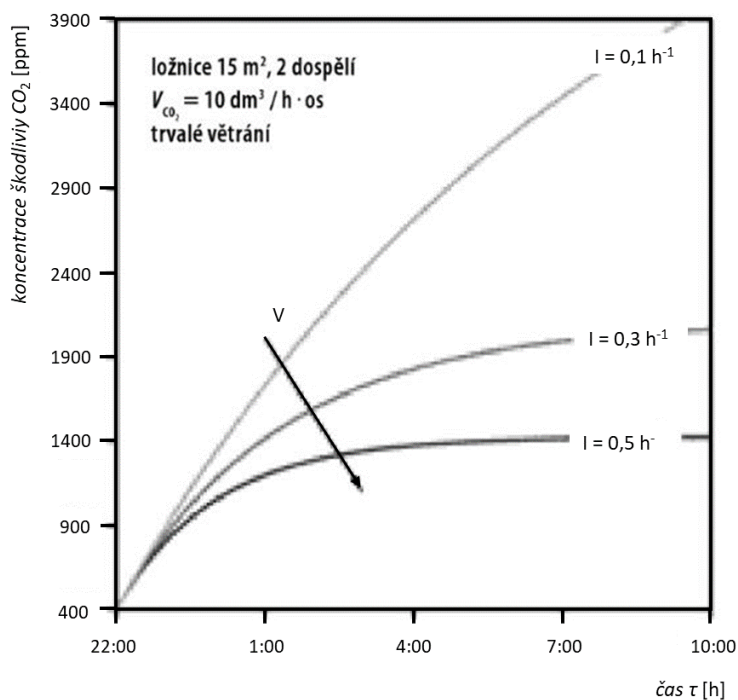
Koncentrace CO<sub>2</sub> je považována za dobrý ukazatel míry znečištění vnitřního prostoru, z toho důvodu je v některých normách uváděna maximální koncentrace CO<sub>2</sub> jako limit přijatelnosti vnitřního prostředí. V tabulce č.1 jsou přehledně zaznamenány účinky jednotlivých úrovní koncentrace CO<sub>2</sub> na lidský organismus. [2]

Tabulka 2: Účinky CO<sub>2</sub> na lidský organismus [2]

Koncentrace CO <sub>2</sub>	Účinky a výskyt
360-400 ppm	Koncentrace v čerstvém vzduchu v přírodě
800-1000 ppm	Doporučená hodnota CO <sub>2</sub> ve vnitřním prostředí
1200-1500 ppm	Doporučená maximální úroveň CO <sub>2</sub> ve vnitřním prostředí
Více než 1500 ppm	Příznaky únavy a snížené koncentrace, ospalost, letargie
Méně než 5000 ppm	Maximální bezpečná koncentrace bez dlouhodobých zdravotních rizik
Více než 5000 ppm	Negativní ovlivnění vnímání osob a syndrom nemocných budov
Více než 10000 ppm	Prokázané zdravotní problém
Více než 40000 ppm	Životu nebezpečné, a to i při krátkodobém působení

V nedostatečně větraném prostoru může koncentrace CO<sub>2</sub> běžně dosahovat i hodnot přes 3500 ppm. Zmrhal [2] znázorňuje vývoj koncentrace CO<sub>2</sub> v ložnici během spánku dvou dospělých osob v závislosti na rozdílné intenzitě větrání (viz obrázek 1). [2] [5]

Obrázek 1: Vývoj koncentrace CO<sub>2</sub> ve větrané ložnici během noci [2]



## Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý je bezbarvý plyn bez zápachu a je vysoce toxický. Ve vnitřním prostředí budov vzniká nedokonalým spalováním všech typů paliva, které je způsobeno především nedostatečným přívodem kyslíku a špatným větráním místnosti, ve které spalování probíhá.

Z důvodu vyšší bezpečnosti se doporučuje, do prostorů s možností vzniku tohoto problému, instalace čidla CO, které včas upozorní na hrozící nebezpečí. [2]

Spotřebiče v provedení A musejí být umístěny v přímo větratelných prostorech. Pro provoz spotřebičů v provedení B je nutné zajistit dostatečný přívod spalovacího vzduchu. Větrání vnitřních prostorů s plynovými spotřebiči je velmi aktuální téma. U starších bytů a domů byly požadavky na přiváděný vzduch naplněny pouhou vysokou průvzdušností okenních spár. Při instalaci nových těsných oken je nutná kontrola přívodu vzduchu pro plynové spotřebiče, zda splňuje všechny požadavky. [2]

### **Formaldehyd**

Formaldehyd je dráždivý plyn s negativním vlivem na lidské zdraví, především je spojován se zvýšeným rizikem vzniku rakoviny. Používá se u výroby některých stavebních materiálů, jako jsou dřevotřískové produkty nebo pěnové izolace. Účinnou ochranou proti účinkům formaldehydu je dostatečné větrání. Během posledních let došlo k významnému snížení výskytu tohoto plynu ve vnitřním prostředí obytných budov, a to díky důsledné kontrole používaných materiálů a zařízení. Limitní hodnota udávaná pro bytové místnosti činí  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . [2]

### **Těkavé organické látky**

Jedná se o organické sloučeniny s bodem varu v rozmezí 50 až 260 °C. Známé je velké množství těchto látek, nicméně u většiny z nich není znám jejich přesný zdravotní účinek. Vyznačují se výrazným zápachem, některé z nich mohou působit dráždivě a vyvolat alergickou reakci, některé jsou karcinogenní. Do vnitřního ovzduší se tyto chemické sloučeniny uvolňují z použitých interiérových a stavebních materiálů. Dále jsou uvolňovány z chemických prostředků užívaných v domácnostech (čisticí prostředky, leštidla, lepidla, nátěry, desinfekční prostředky apod.). [2]

### **Azbest**

Riziko použití azbestu, jako stavebního materiálu, je již dobře známo a od roku 2006 je jeho používání zakázáno. Z azbestu se uvolňuje prach v podobě vláken, který má prokazatelně karcinogenní účinky. V současnosti je již nahrazován umělými minerálními vláknitými materiály. U některých z nich se však také začíná ukazovat jejich negativní vliv na lidský organismus. Limitní hodnotou pro azbest a minerální vlákna ve vnitřním prostředí je  $1\ 000 \text{ vláken}/\text{m}^3$ . [1]

## **Cigaretový kouř**

Škodlivé účinky aktivního i pasivního kouření jsou v dnešní době již dobře známy. Při kouření se do okolního prostředí uvolňuje mnoho škodlivých plynných látek i částic (oxid uhelnatý, dehet, amoniak, formaldehyd a mnoho dalších) přičemž většina z těchto látek představuje karcinogeny. Ve vnitřním prostředí obytných budov je nutno kouření omezit. V případě, že se uvnitř kouří je nutné dodržet dostatečnou výměnu vzduchu větráním a vyloučit oběhový vzduch. [2]

## **3.3 Hlavní znečišťující látky z venkovního prostředí**

Jako zásadní škodliviny pocházející z venkovního prostředí uvádí ČSN EN 13 779: oxid siřičitý SO<sub>2</sub>, oxid dusičitý NO<sub>2</sub>, ozón O<sub>3</sub>, prachové částice PM<sub>10</sub>. Norma určuje pro tyto škodliviny jednotlivé směrné hodnoty průměrných imisních koncentrací (μg/m<sup>3</sup>) vztažených k definovanému časovému úseku (hodiny, dny, rok). Venkovní ovzduší je normou dále klasifikováno do tříd dle velikosti překročení směrné hodnoty: ODA 1 – nedochází k překročení, ODA 2 – směrné hodnoty jsou překročeny maximálně 1,5násobkem, ODA 3 – směrné hodnoty jsou překročeny více než 1,5násobkem. [2] [6]

## **3.4 Legislativa, normy a nařízení**

Obecně jsou požadavky na kvalitu vnitřního prostředí budov udávány zákony. Jejich podrobnější rozvedení, včetně limitních hodnot pro jednotlivé faktory, nalezneme v příslušných prováděcích předpisech (nařízeních vlády a vyhláškách). Pro oblasti, které nejsou pokryty právně závaznými předpisy, je k dispozici množství technických norem. Seznam nejdůležitějších zákonů, prováděcích předpisů a norem, týkající se jednotlivých požadavků na vnitřní prostředí budov:

### **3.4.1 Zákony**

Jednotlivé požadavky na kvalitu vnitřního prostředí vycházejí z následujících zákonů:

**Zákon č. 258/2000 Sb.**, o ochraně veřejného zdraví, ve znění pozdějších předpisů,

**Zákon č. 183/2006 Sb.**, o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon),

**Zákon č. 262/2006 Sb.**, zákoník práce v platném znění.

### **3.4.2 Prováděcí předpisy**

**Vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj č. 268/2009 Sb.** o technických požadavcích na stavby,

**Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb.** stanovující hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb,

**Vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj č. 20/2012 Sb.** stanovující množství přiváděného čerstvého vzduchu na osobu do místnosti. Dále stanovuje koncentraci oxidu uhličitého jako ukazatel kvality vnitřního prostředí,

**Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.** o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací,

**Nařízení vlády č. 1/2008 Sb.** o ochraně zdraví před neionizujícím zářením.

### **3.4.3 Normy**

**ČSN EN 16798** Energetická náročnost budov – Větrání budov – Potrubní prvky – Mechanické vlastnosti,

**ČSN EN 15665** Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov,

**ČSN EN 1886** Provedení jednotek – Definice klasifikace a zkušebních metod pro jednotky na úpravu vzduchu.

## 4 Větrání rodinných domů

Větrání obstarává přívod čerstvého venkovního vzduchu do větraného prostoru a odvod vzduchu znečištěného z větraného prostoru.

### 4.1 Způsoby větrání

Dle principu pohybu vzduchu ve vnitřním prostředí můžeme způsoby větrání rozdělit na větrání s přirozeným a větrání s nuceným oběhem vzduchu.

#### 4.1.1 Přirozené větrání

Vzduch se v rámci místností pohybuje samovolně bez pomoci ventilátorů. K proudění dochází na principu rozdílných hmotností vzduchu, kdy teplejší vzduch je lehčí a stoupá vzhůru nad studený. Na proudění má dále významný vliv vítr, který ovlivňuje tlakový rozdíl uvnitř a vně místnosti. U budovy vystavené proudění větru dochází k větší míře proudění vzduchu v rámci jednotlivých místností. [7]

K přirozenému větrání u rodinných domů může docházet dvěma způsoby:

##### **Infiltrací**

Jedná se o celkové přirozené větrání, ke kterému dochází kvůli tlakovým rozdílům ve vnitřním a venkovním prostředí. Vzduch proniká díky poréznosti zdiva a netěsnostmi u dveří, oken a dalších konstrukčních prvků. Vzhledem k relativně konstantní teplotě vnitřního prostředí v průběhu roku jsou tlakové rozdíly závislé především na klimatických podmínkách. Z toho důvodu dochází k nejvýznamnější infiltraci v zimních měsících. [7]

Vzhledem k nárokům na vzduchotěsnost budovy, zjišťovanou Blower door testem, je v dnešní době přirozené větrání infiltrací u novostaveb minimalizováno. Z tohoto důvodu nelze, za běžných klimatických podmínek, předpokládat zajištění hygienicky nezbytné výměny vzduchu pouhou infiltrací. Pouhé větrání infiltrací je možné připustit pouze u budov, u kterých není možná výměna starých oken za těsná nová (např. u památkově chráněných budov). [8]

##### **Provětráváním**

Výměna vzduchu je prováděna občasným otevíráním oken, případně dveří. V letním období a vysokých teplotách mohou být okna otevřena trvale. Díky tomu dojde k několikanásobné výměně vzduchu v místnosti a tím i k jejímu ochlazení. V chladnějším období by tímto způsobem mohlo docházet k chladnému průvanu a následně až ke zdravotním komplikacím

obyvatel tohoto prostoru. Provětráváním pouze přivřenými okny se zamezí průvanu, nicméně výměna vzduchu probíhá pouze v oblasti okolo okna. Z těchto důvodů je doporučeno v zimním období provětrávat řádným otevřením oken, avšak pouze na krátký časový úsek. Tím se zamezí prochladnutí stěn a s tím spojeným výrazným tepelným ztrátám. V letním období lze naopak větrat téměř nepřetržitě, což za určitých podmínek může vést k částečnému ochlazení vnitřního prostředí. Mezi významné nevýhody patří kolísání teploty vnitřního prostředí, vnikání nečistot a hluku z venkovního prostředí a v neposlední řadě nehospodárnost tohoto způsobu větrání. [7]

### 4.1.2 Nucené větrání

Proudění vzduchu ve větraném vnitřním prostředí je zajištěno nuceným mechanickým účinkem ventilátoru. Hlavní výhodou tohoto způsobu větrání je filtrace přiváděného vzduchu, možnost regulace a zajištění stálého vnitřního klimatu. V závislosti na poměru množství přiváděného a odváděného vzduchu dělíme systémy nuceného větrání na přetlakové, rovnotlaké a podtlakové. [7] [8]

#### Součinitel větrací rovnováhy

Systém nuceného větrání pracuje pomocí ventilátoru, který obstarává přívod nebo odvod vzduchu. Přívod i odvod vzduchu může probíhat současně, a to pomocí dvou ventilátorů. Po vypočtení poměru mezi množstvím uměle přiváděného vzduchu  $M_p$  [m<sup>3</sup>/h] a uměle odváděného vzduchu  $M_o$  [m<sup>3</sup>/h] získáme součinitel větrací rovnováhy  $\varepsilon$  [-]:

$$\varepsilon = \frac{M_p}{M_o}. \quad (1)$$

Na základě součinitele větrací rovnováhy se větrání rozděluje na podtlakové ( $\varepsilon > 1$ ), rovnotlaké ( $\varepsilon = 1$ ) a přetlakové ( $\varepsilon < 1$ ). [7]

#### Přetlakové větrání

Množství přiváděného vzduchu je větší než množství odváděného. Používá se především pro prostory se zvýšenými hygienickými nároky, u kterých je nutné zamezení vnikání okolního neupraveného vzduchu jako jsou například operační sály, klimaticky náročná výroba, výpočetní střediska apod. Pro rodinné domy se přetlakového větrání využívá při řešení zvýšené radonové zátěže v objektu. [7]

#### Rovnotlaké větrání

Množství přiváděného a odváděného vzduchu je stejné. Oproti větrání podtlakovému představuje vyšší kvalitu větrání. Rovnotlaké větrání je vhodné zejména pro objekty s nízkou



průvzdušností obálky, což se v dnešní době týká téměř všech novostaveb a rekonstruovaných domů. U rovnotlakého větrání bývá ve většině případů použito zařízení pro zpětné získávání tepla, které částečně hradí tepelné ztráty větráním. [2]

### **Podtlakové větrání**

Množství odváděného vzduchu je větší než množství přiváděného. Používá se v místnostech s předpokládaným vznikem škodlivin. Použitím podtlakového větrání se zabráňuje jejich šíření do okolních prostor. Typickým příkladem podtlakového větrání je odsávací zařízení. [7]

### **4.1.3 Zpětné získávání tepla**

Jednou z velkých předností nuceného větrání je možnost zpětného získávání tepla z odváděného vzduchu. Ve vzduchotechnice se jedná o zařízení, které odebírá teplo vzduchu odváděnému mimo větranou budovu a předává jej vzduchu čerstvému venkovnímu, přiváděnému. [2]

U rodinných domů se nejčastěji používají výměníky deskové rekuperační, rotační regenerační a přepínací regenerační. U rekuperačních výměníků dochází k přímé výměně tepla pomocí teplosměnné plochy, popřípadě pomocí kapaliny určené pro přenos tepla. U regeneračních výměníků se postupně mění poloha akumulární hmoty za stálého směru proudu vzduchu. [2]

### **Teplotní faktor ZZT**

Teplotní faktor  $\Phi$ , který je často označován také jako účinnost zpětného získávání tepla nebo jako teplotní účinnost, je definován jako poměr rozdílu teplot na zvolené straně tepelného výměníku k maximálnímu rozdílu teplot. Tato definice použitá pro přívodní stranu výměníku dává možnost stanovit teplotu čerstvého přiváděného vzduchu za výměníkem  $t_{e2}$ :

$$\Phi_e = \frac{\Delta t_e}{\Delta t_{max}} = \frac{t_{e2} - t_{e1}}{t_{o1} - t_{e1}} \quad (2)$$

Pro protější, odvodní stranu výměníku platí:

$$\Phi_o = \frac{\Delta t_o}{\Delta t_{max}} = \frac{t_{o1} - t_{o2}}{t_{o1} - t_{e1}} \quad (3)$$

kde  $t_{e2}$  [°C] je teplota čerstvého přiváděného vzduchu za výměníkem,  $t_{e1}$  [°C] je teplotou čerstvého přiváděného vzduchu před výměníkem,  $t_{o1}$  [°C] je teplotou vzduchu znehodnoceného odváděného z větraných prostor před výměníkem a  $t_{o2}$  [°C] je teplota znehodnoceného vzduchu za tepelným výměníkem.

### Vlhkostní faktor ZZT

Obdobným způsobem, jakým je definován teplotní faktor ZZT, je definován i vlhkostní faktor  $\psi$ , který je často označován jako vlhkostní účinnost. To umožňuje stanovení měrné vlhkosti přiváděného vzduchu za tepelným výměníkem  $x_e$  [g/kg<sub>s.v.</sub>]. Značení jednotlivých měrných vlhkostí je obdobné jako u výpočtu teplotního faktoru:

$$\psi_e = \frac{x_{e2} - x_{e1}}{x_{o1} - x_{e1}}. \quad (4)$$

## 4.2 Požadavky na větrání

Nejčastěji se můžeme setkat s požadavky na větrání ve formě požadované intenzity větrání nebo průtoku venkovního vzduchu udávaného na jednu osobu, plochu 1 m<sup>2</sup>, popřípadě na hygienický předmět, jako je například umyvadlo, sprcha či záchod.

Tyto informace můžeme dále rozdělit na doporučené (normy, směrnice) a závazné (zákonné předpisy). Jednotlivé průtoky vzduchu trvalého větrání obytných budov plyne z hygienických nároků. Průtoky vzduchu pro nárazové větrání je navrhováno s ohledem na odvod znečišťujících látek, nejčastěji pak vodní páry. V zázemí obytných budov se často setkáváme s prostory vyhrazenými pro technologie, jako je například kotelna. V těchto prostorech se větrání řídí většinou technologickými či bezpečnostními požadavky. [2]

Navržení zařízení pro účely větrání spočívá ve stanovení požadovaných průtoků vzduchu čerstvého přiváděného a vzduchu znehodnoceného – odváděného. Průtok vzduchu do obytných místností se určuje nejčastěji dle požadavků na kvalitu vnitřního prostředí na základě bilance škodlivin, průtoku vzduchu na osobu či intenzitou větrání. [2]

### 4.2.1 Pettenkoferovo kritérium

Pettenkoferovo kritérium (1877) je základem pro stanovení potřebného množství čerstvého vzduchu. Udává podmínku na maximální koncentraci CO<sub>2</sub> v prostoru, určeném pro pobyt lidí,  $C = 0,1$  % objemu tohoto prostoru (1 000 ppm). V uvedené koncentraci je zohledněno kromě samotného CO<sub>2</sub> i produkci dalších metabolitů jako je vlhkost, teplo a oděry od osob. Pro bdělé osoby s mírnou fyzickou aktivitou je tok vdechovaného a vydechovaného vzduchu 0,45 m<sup>3</sup>/h na osobu. Pro osoby spící je hodnota udávána jako 0,25 m<sup>3</sup>/h na osobu. Průměrná koncentrace CO<sub>2</sub> v čerstvém venkovním vzduchu se v roce 2019 pohybovala kolem hodnoty  $C_p = 0,041$  % což je 410 ppm. Koncentrace ve vydechovaném vzduchu je přibližně  $C_{CO_2,vyd} = 4$  %. Za pomoci rovnice plynoucí z bilance škodlivin ve větraném prostoru vyplývá, že:

$$V_e = \frac{V_s}{C - C_p} = \frac{0,45 \cdot 0,04}{0,001 - 0,00041} = 30,5 [m^3/h \cdot os]. \quad (5)$$

Poznámka: Původní hodnota koncentrace CO<sub>2</sub> ve venkovním vzduchu uvažována Pettenkoferem byla 300 ppm. Za daných podmínek vycházelo množství vzduchu na osobou 25,8 m<sup>3</sup>/h. [5] [9]

#### 4.2.2 Intenzita větrání

Průtok vyměňovaného vzduchu je definován intenzitou větrání  $I [h^{-1}]$ . Ta udává, kolikrát za hodinu se vymění čerstvý vzduch  $V_e [m^3/h]$  v objemu větraného prostoru  $O [m^3]$ :

$$I = \frac{V_e}{O} [h^{-1}] \quad (6)$$

#### 4.2.3 Národní požadavky na větrání obytných budov

Dle vyhlášky ministerstva pro místní rozvoj č. 20/2012 Sb. musejí všechny pobytové místnosti mít zajištěné dostatečné přirozené nebo nucené větrání. V době pobytu osob ve větraném prostředí je předepsané minimální množství čerstvého vzduchu 25 m<sup>3</sup>/h na osobu, popřípadě musí být zajištěna minimální intenzita větrání 0,5 h<sup>-1</sup>. Ukazatelem kvality vnitřního prostředí je oxid uhličitý CO<sub>2</sub>, jehož koncentrace ve vnitřním prostředí nesmí přesáhnout hodnotu 1 500 ppm. Odváděný vzduch musí být účinně odvětráván v souladu s normovými hodnotami. Obdobně se vyhláška odkazuje na normové hodnoty u místností, ve kterých jsou nainstalovány spotřebiče paliv. [10]

#### 4.2.4 Normativní požadavky na větrání obytných budov

Příloha normy ČSN EN 15665/Z1 udává základní požadavek na zajištění trvalého přívodu čerstvého vzduchu s minimální intenzitou větrání 0,3 h<sup>-1</sup> pro obytné místnosti a kuchyně. Pro vyšší požadovanou kvalitu vnitřního ovzduší je doporučena intenzita větrání 0,5 až 0,7 h<sup>-1</sup>. V období, kdy obytné budovy nejsou dlouhodobě využívány (např. dovolené, víkendy), je přípustný provoz se sníženou intenzitou větrání 0,1 h<sup>-1</sup>. Doplnujícím kritériem pro dimenzování přívodu vzduchu je minimální dávka čerstvého vzduchu pro osoby (tab. 3), nicméně vždy musí být splněn požadavek na minimální intenzitu větrání. [11]

Větrací systém obytných budov musí zároveň zajistit odvod vzduchu z místností v nichž se nachází zdroje znečišťujících látek, tedy především z kuchyně a hygienického zázemí. Při trvalém větrání je průtok odváděného vzduchu odpovídající průtoku vzduchu

přiváděnému, který je stanoven dle požadavku na intenzitu větrání. Dále se doporučuje vzduchu v obytných místnostech odvádět přes hygienické zázemí.

V normě je dále definován průtok odváděného vzduchu při nárazovém větrání pro kuchyně a hygienické zázemí (tab. 3). Odvedený vzduch je v takovém případě hrazen buď větracími otvory, nebo zvýšeným přívodem větrací jednotky. [11]

Tabulka 3: Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15665/Z1 [11]

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

## 5 Prvky větracích systémů pro rodinné domy

### 5.1 Větrací jednotky se zpětným získáváním tepla

Pro rodinné domy lze na trhu najít nejčastěji jednotky o výkonu od 150 m<sup>3</sup>/h, pro malé rodinné domy a byty, až po 700 m<sup>3</sup>/h pro velké rodinné domy.

#### 5.1.1 Lokální větrací jednotky

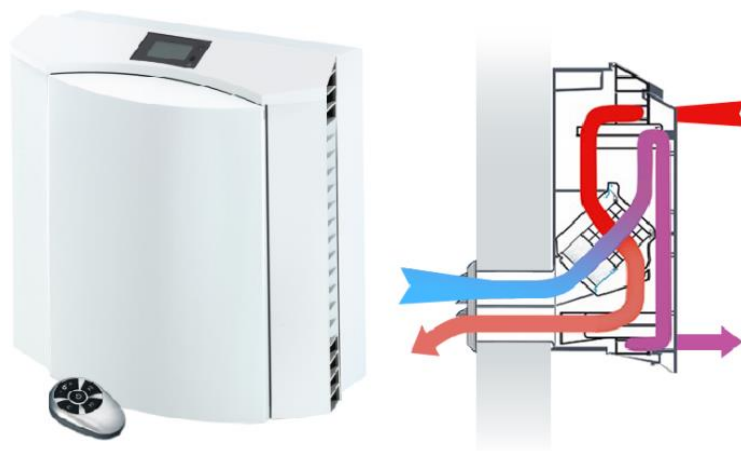
Lokální, někdy označované jako decentrální, větrací jednotky se zpětným získáváním tepla se využívají pro nucené rovnotlaké větrání jednotlivých místností s nutností přímého propojení na venkovní prostředí. Nejčastěji se skládají se z ventilátoru, rekuperačního výměníku, filtrů a v některých případech i tlumiče hluku. Běžné vzduchové výkony těchto jednotek se pohybují v rozmezí 20-60 m<sup>3</sup>/h. U lokálních systémů je možné regulovat množství výměny vzduchu individuálně pro každou místnost. [3]

Dle umístění můžeme lokální větrací jednotky rozdělit na nástěnné a jednotky zabudované v obvodové zdi. Dle způsobu provozu lze lokální jednotky dále dělit na jednotky s kontinuálním prouděním vzduchu a jednotky se střídavým prouděním vzduchu. [3]

#### Jednotky s kontinuálním prouděním vzduchu

Současně probíhá přívod i odtah vzduchu a pomocí tepelného výměníku dochází k předávání tepla z odpadního na přiváděný vzduch. Tyto jednotky jsou vyráběny v nástěnném (obr. č. 2) i zabudovaném provedení.

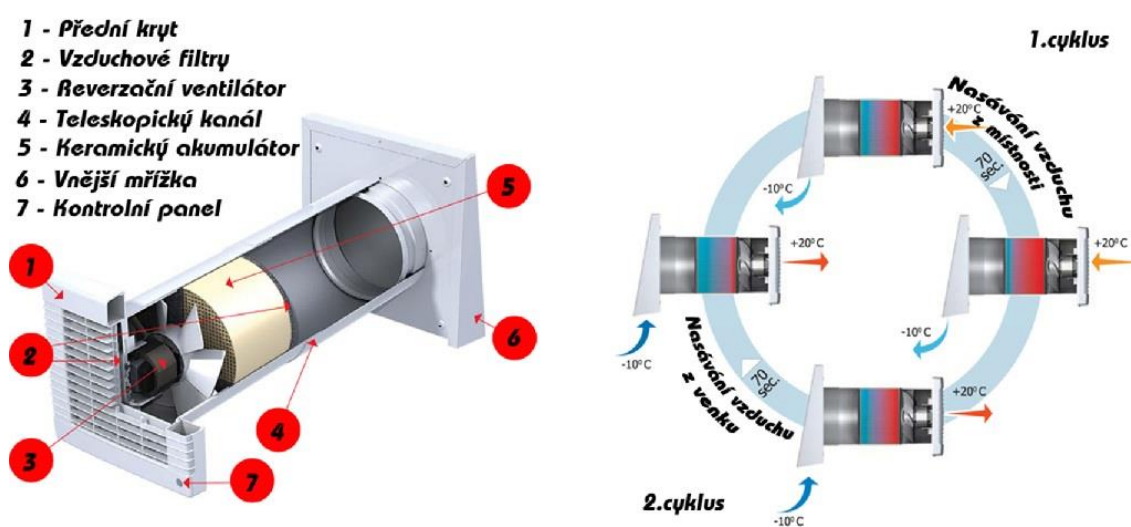
Obrázek 2: Lokální nástěnná rekuperační jednotka Korasmart 1400 [12]



## Jednotky se střídavým prouděním vzduchu

Jednotka pracuje ve dvou střídajících se cyklech (obr. č. 4). V prvním cyklu se znehodnocený vzduch odvádí z vnitřního prostředí přes akumulátor tepla (např. keramický) ven. Při průchodu akumulátorem tepla dochází k předávání tepla z odpadního vzduchu na akumulátor. V druhém cyklu je nasáván čerstvý vzduch z venku. Následně čistý vzduch putuje do ohřátého akumulátoru tepla, kde je teplo předáváno čerstvému vzduchu a ohřátý je následně vháněn do místnosti. [13]

Obrázek 3: Lokální jednotka Dalap ZEPHIR LUX [13]



Vzhledem k nižším vzduchovým výkonům jsou lokální větrací jednotky vždy určeny pro individuální větrání jedné místnosti. S tím je spojená nutnost provedení prostupu přes obvodovou stavební konstrukci pro každou místnost s lokální větrací jednotkou, což je ve většině případů spojeno s tepelnými mosty a netěsnostmi. Z těchto důvodů není tento systém vhodný pro větší počet větraných místností a u rodinných domů není tolik využíván. [2]

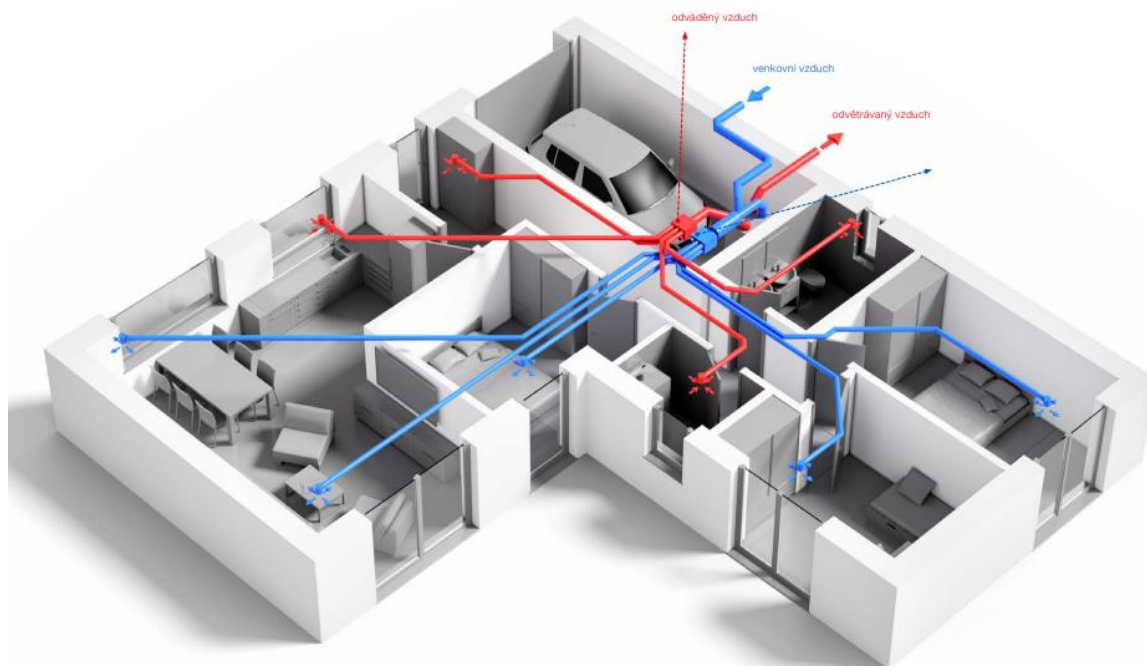
### 5.1.2 Centrální větrací jednotky

Centrální větrací jednotky se využívají pro nucené rovnotlaké větrání celých domů, popřípadě bytových jednotek. Jednotka standardně obsahuje dva ventilátory pro přívod a odvod vzduchu, výměník zpětného získávání tepla s obtokem a vzduchové filtry. V závislosti na výrobci pak obsahuje další příslušenství, jako předehřev vzduchu, čidla teplot, čidla koncentrace CO<sub>2</sub> apod. [2] [3]

System centrálního rovnotlakého větrání nabízí, oproti ostatním systémům, řadu výhod. Ty vedou nejen k energetické úspoře, ale i k žádoucímu vlivu na mikroklima větraných prostor. Mezi nesporné výhody patří možnost regulace intenzity větrání v závislosti na okamžité potřebě uživatele. System lze, v závislosti na možnostech větrací jednotky, ve většině případů regulovat na základě čidel vlhkosti, CO<sub>2</sub>, oděrů nebo senzorů pohybu osob. Přiváděný vzduch je vždy filtrován pomocí zvolené úrovně filtrů v jednotce. Optimalizovaná regulace distribuce vzduchu v jednotlivých místnostech a s tím spojená úprava tlakových poměrů mezi místnostmi zvyšuje kvalitu vnitřního prostředí. Díky tomu je zajištěna minimalizace kolísání teplot v interiéru. [2] [3]

Přívod vzduchu se vždy realizuje do obytných pokojů, jídelen a ložnic (viz. obr. č. 4). Odvod vzduchu probíhá z míst se zdrojem škodlivin (zápachu, škodlivých látek, vlhkosti) jimiž jsou kuchyně, koupelny, WC atd. Cirkulace vzduchu uvnitř domu probíhá dveřními či stěnovými mřížkami, popřípadě pode dveřmi, které jsou osazeny bez prahů. Uspořádání a volba distribučních prvků musí respektovat tvar i velikost místností a zdroje tepla (otopná tělesa).

Obrázek 4: Schéma zapojení u centrálního rovnotlakého větrání [14]

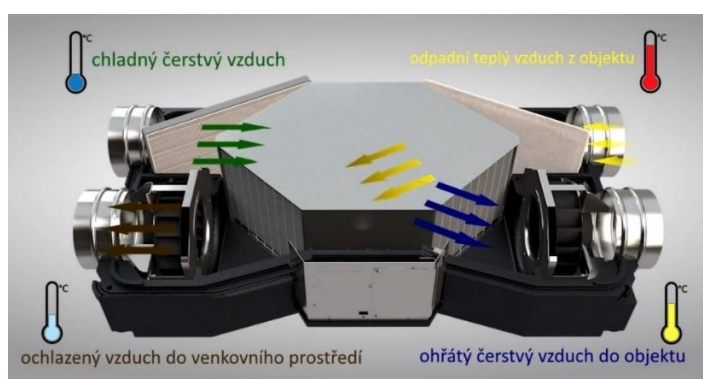


Dle polohy instalace můžeme centrální větrací jednotky se zpětným získáváním tepla dále dělit na podstropní a nástěnné provedení. [2] [3]

### Podstropní provedení

Jednotky v podstropním provedení (viz. obr. č. 5) jsou nejčastěji používány v obytných budovách s omezenými prostorovými dispozicemi, jako jsou bytové jednotky a malé rodinné domy. Díky své výšce, nejčastěji mezi 20 a 30 cm, jsou vhodné pro umístění například nad chodbu, popřípadě na strop neobytných místností.

Obrázek 5: Podstropní jednotka Venus Comfort 150 AC od společnosti 2VV [15]



### Nástěnné provedení

Jednotky v nástěnném provedení (viz. obr. č. 6) se nejčastěji instalují do technické místnosti, sklepa, garáže, popřípadě do půdního prostoru. V závislosti na předpokládané teplotě v dané místnosti může být nutné jednotku dodatečně zaizolovat, aby nedocházelo k jejímu promrzání.

Obrázek 6: Nástěnná jednotka Flair 325 od firmy Brink [16]





## 5.2 Tepelné výměníky

Hlavní výhodou řízeného větrání je možnost zpětného získávání tepla. Toho je docíleno díky tepelným výměníkům umístěným ve větracích jednotkách. V následujících kapitolách jsou přiblíženy nejčastěji používané výměníky ve větracích jednotkách určených pro rodinné domy.

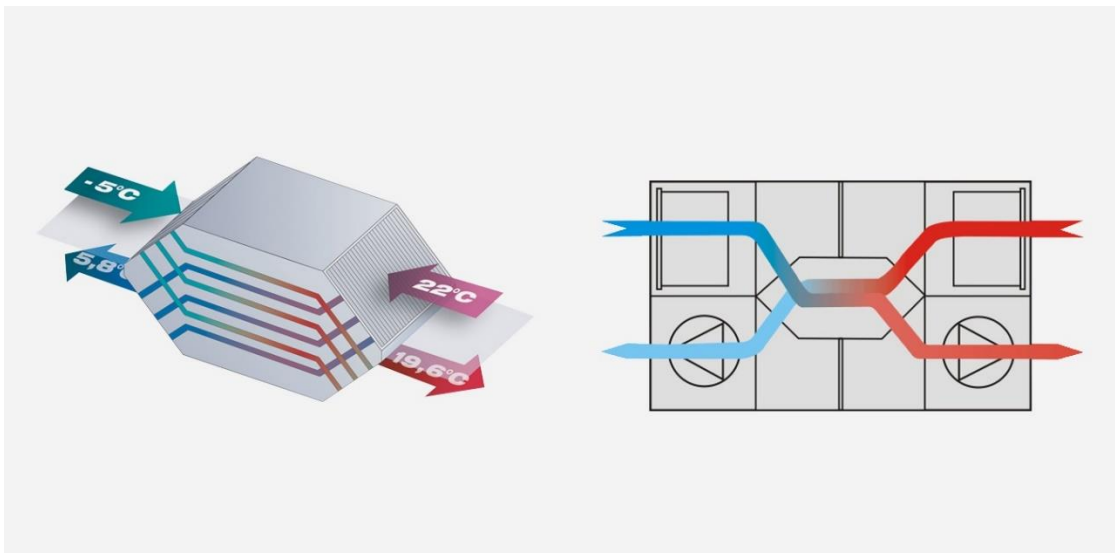
### 5.2.1 Rekuperační výměníky tepla

Ohřívané i ohřívající médium je vzájemně odděleno stěnou o určité tloušťce s teplosměnnými plochami S1 a S2 na straně obou médií. [17]

#### Deskové rekuperační výměníky

Tento typ výměníků je velmi rozšířený zejména pro menší průtoky vzduchu. Čerstvý přiváděný vzduch je od znečištěného odváděného oddělen teplosměnnou plochou v podobě profilovaných desek, přes které je předáváno teplo. Dříve nejčastější křížové uspořádání je v dnešní době nahrazováno protiproudým uspořádáním (viz. obr. č. 7). Nejčastější materiál pro výrobu deskových výměníků je v současnosti hliník, nerezový plech a plast. Deskové výměníky jsou vyráběny v uspořádání křížovém a protiproudém, přičemž protiproudé uspořádání dosahuje obvykle vyššího teplotního faktoru až kolem 90 %. [9] [18]

Obrázek 7: Protiproudý deskový výměník tepla [19]



Vysoký teplotní faktor, relativně nízká cena a široké možnosti použití dělají z těchto výměníků nejpoužívanější variantu pro větrání se ZZT pro rodinné domy. Jejich další

výhodou, v porovnání s rotačními výměníky, je možnost kondenzace, která bývá ve většině případů vítaná, neboť díky latentnímu teplu zvyšuje celkovou účinnost výměníku. Mezi nevýhody patří nemožnost přímé regulace. Z tohoto důvodu bývají jednotky s tímto výměníkem vybaveny obtokem a uzavírací klapkou tak, aby přívodní vzduch obtékal výměník. Obtoku výměníku se využívá zejména v letních měsících, kdy bývá teplota čerstvého venkovního vzduchu nižší než teplota vzduchu uvnitř větraného prostoru. Naopak v zimních měsících může na povrchu výměníku docházet k namrzání zkondenzovaných vodních par. To způsobuje zmenšování průřezu výměníku, zvýšenou tlakovou ztrátu, zhoršuje se přestup tepla a v konečném důsledku může vést až k nenávratnému poškození samotného výměníku. Z tohoto důvodu je již naprostá většina jednotek s deskovým výměníkem vybavena některým typem protimrazové ochrany. [9] [18]

### **Deskové výměníky s přenosem vlhkosti**

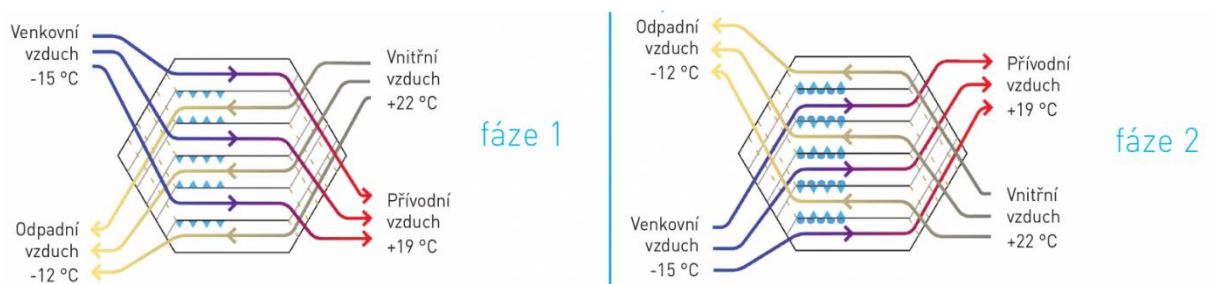
Deskové výměníky s přenosem vlhkosti, též označovány jako entalpické výměníky, jsou speciálním typem deskových výměníků umožňující kromě přenosu tepla i přenos vlhkosti. Vhodný je zejména u domů s nízkou relativní vlhkostí vnitřního prostředí. [20]

Entalpický výměník odpovídá konstrukcí deskovému rekuperačnímu výměníku, liší se však v provedení jednotlivých desek, které jsou zhotoveny jako polymerické membrány. To umožňuje předávání části vlhkosti z odváděného vzduchu na vzduch přiváděný. Membrána je uzpůsobena tak, aby propustila pouze molekuly vody a zabránila prostupu nečistot a mikroorganismů. Tepelná účinnost se u těchto výměníků pohybuje v závislosti na provedení až okolo 85 % a vlhkostní účinnost až 70 %. Ve srovnání s běžným deskovým rekuperačním výměníkem má výhodu i v nižší venkovní teplotě, při které je možné jednotky s tímto výměníkem bez přehřevu ještě efektivně provozovat. [20]

### **Přepínací systémy s deskovými výměníky**

Někteří výrobci pro přenos vlhkosti používají i standardní deskové výměníky bez membránových desek. Princip spočívá v systému přepínacích klapek, měnících směr proudění vzduchu skrze deskový výměník (viz. obr. č. 8). Vlhkost je předávána pomocí střídání dvou fází. Ve fázi 1 dochází ke kondenzaci vlhkosti z odpadního vzduchu v kanálcích výměníku. Po přepnutí klapek nastává fáze 2. Směr proudění vzduchu výměníkem se obrátí a čerstvý přiváděný vzduch při průchodu výměníkem absorbuje zkondenzovanou vlhkost a tím ji dopravuje zpět do vnitřního prostředí. [9] [21]

Obrázek 8: Princip klapkového systému firmy Wafe [21]



Díky klapkovému systému je možné výměníky efektivně provozovat bez předeřevu vzduchu a bez nutnosti odvodu kondenzátu. Mezi významné nevýhody tohoto systému patří zejména nemožnost zabránění přenosu škodlivin ze vzduchu odváděného do vzduchu přiváděného. [21]

### 5.2.2 Regenerační výměníky tepla

Ohřívané médium vtéká opakovaně s určitým časovým zpožděním za médiem ohřívajícím do přesně vymezeného prostoru, vyplněného pevným teplo zprostředkujícím elementem a přijímá z něj teplo, dříve přivedené ohřívajícím médiem. [17]

V praxi známe dva základní typy regeneračních výměníků:

#### Rotační výměníky

Výměník s cyklicky se otáčející akumulací hmotou rotoru. Směr proudu vzduchu je stálý. Jednotlivé části rotoru se tak pravidelně střídají při styku s odváděným a přiváděným proudem vzduchu. Tyto výměníky dosahují vysoké účinnosti až přes 80 %, díky velké teplosměnné ploše a díky přenosu nejenom citelného, ale i latentního tepla v podobě vlhkosti. [22]

Hlavní částí rotačního výměníku je rotor obsahující akumulací hmotu poháněný elektromotorem. Rotor má tvar válce s drobnými kanálky a nejčastěji je vyráběn z hliníkové slitiny (ve formě navinutého zvlněného plechu o tloušťce 0,06 až 0,1 mm). Rotor cyklicky rotuje mezi proudem odvodního vzduchu, kdy akumuluje teplo, a proudem čerstvého přiváděného vzduchu, kterému teplo předává. Dle typu rotoru můžeme rotační výměníky dále dělit na:

Nehygroskopické provedení – nazýván také jako teplotní rotor – výměník určený převážně pro přenos tepla,

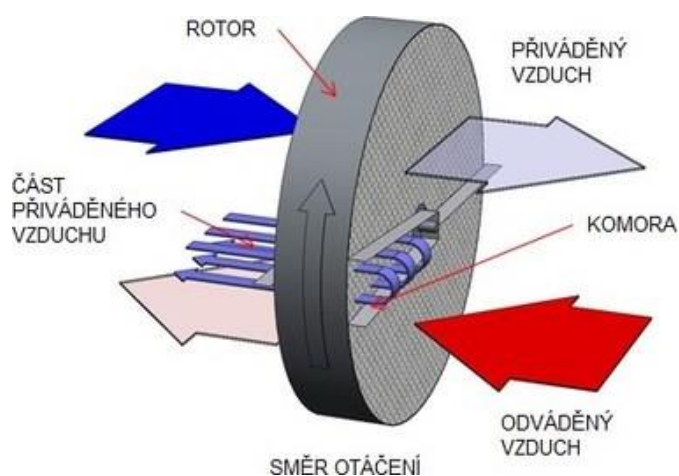
Hygroskopické provedení – povrch rotoru je opatřen speciální vrstvou umožňující přenos vlhkosti až s 90% účinností,

Epoxidové provedení – výměník používaný pro provoz v agresivním prostředí (bazény, přímořské oblasti).

V závislosti na kondenzaci se hygroskopické provedení dále dělí na entalpické, kdy je přenos vlhkosti doprovázen i částečnou kondenzací, a sorpční, kde dochází k přenosu vlhkosti bez kondenzace. [22]

Nevýhodou rotačních výměníků je riziko přenosu škodlivin mezi přiváděným a odváděným vzduchem. Z důvodu minimalizování tohoto problému se používá takzvaná vyplachovací komora (viz. obr. č. 9), která je umístěna na rozhraní mezi odvodní a přívodní částí výměníku. V této komoře dochází k profukování kanálků rotoru částí čerstvého přívodního vzduchu a jeho následný výfuk spolu s odváděným vzduchem. Kromě příznivého vlivu na snížení množství kontaminace má vyplachovací komora za následek i snížení účinnosti přenosu energie až o 5 %. Zároveň je pro správnou funkčnost nezbytné zajištění mírného přetlaku na přívodní straně výměníku. Rotační výměníky lze regulovat, popřípadě úplně vypnout, pomocí změny otáček elektromotoru. [9], [22]

Obrázek 9: Princip rotačního výměníku [22]



### Přepínací výměníky

Výměník obsahuje dva akumulátory se stálou polohou. Směr proudu vzduchu je střídavě přepínán pomocí klapky. Tím dochází střídavě k akumulaci a následnému předání tepla čerstvému vzduchu u obou akumulátorů. Tyto výměníky dosahují poměrně vysokých teplotních účinností a vlhkostních účinností, avšak kvůli své složité konstrukci nabývají větších rozměrů. Spolu s praktickou nemožností zabránění přenosu škodlivin ze vzduchu

odváděného do vzduchu přiváděného má tento typ výměníku značně omezené pole použití. Z těchto důvodů se tento výměník v praxi u rodinných domů nepoužívá. [9]

## 5.3 Vzduchovody

Vzduchovod je potrubí určené pro dopravu vzduchu k distribučním prvkům, nejčastěji vyústkám. Vyrábějí se buď v kruhovém, nebo čtyřhranném průřezu. Kruhové vzduchovody jsou vhodné zejména díky svým aerodynamickým vlastnostem. Čtyřhranné vzduchovody se naopak lépe přizpůsobí objektu. Vedení vzduchovodů je v rodinných domech nejčastěji realizováno nad podhledem, v podlaze nebo v půdním prostoru pod izolací tak, aby nenarušovaly architektonický ráz obytných místností. [2]

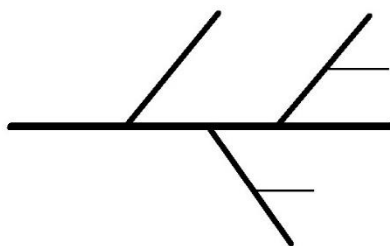
### 5.3.1 Větvení vzduchovodů

Pro větvení rozvodů se používají dva základní typy:

#### Páteřní větvení

Dochází k postupnému větvení páteřní větve vzduchovodu (viz. obr. č. 10). Pro zabránění přeslechů mezi místnostmi je nutné použití přeslechových tlumičů (např. ohebné hadice s útlumem hluku). K nevýhodám tohoto systému větvení patří riziko přeslechů mezi místnostmi a ve většině případů obtížná čistitelnost rozvodů. [2] [23]

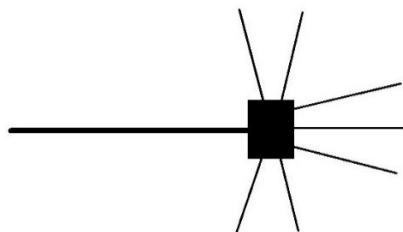
Obrázek 10: Schéma páteřního větvení [23]



#### Paralelní větvení

Využívá centrálních rozvodných komor, z níž je každá větev vedena samostatně až k distribučnímu prvku, popřípadě k dalšímu větvení (viz. obr. č. 11). Hlavní výhodou tohoto uspořádání je účinné zabránění přeslechů mezi místnostmi. Nevýhodou je vyšší spotřeba potrubí a prostorové nároky centrální rozvodné komory. [2]

Obrázek 11: Schéma paralelního větvení [23]



### 5.3.2 Typy vzduchovodů pro rodinné domy

Mezi nejpoužívanější typy vzduchovodů pro rodinné domy patří zejména kruhové potrubí z pozinkovaného plechu, jako zástupce páteřního větvení, a ohebné plastové hadice, jako zástupce paralelního větvení. Mezi další varianty patří ploché vzduchovody z pozinkovaného plechu, plastové potrubí kruhové i čtyřhranné a ohebné hliníkové hadice. [2] [23]

## 5.4 Vzduchové filtry

Vzduchové filtry plní ve větracích systémech několik velmi důležitých rolí. Většina větracích jednotek určených pro rodinné domy má v dnešní době filtry umístěné přímo v krabici jednotky, nicméně je možné filtry osadit i externě do filtračních boxů.

Filtry v první řadě ovlivňují kvalitu přiváděného vzduchu, kde dochází, dle zvolené třídy filtrace, k odfiltrování nežádoucích částic. Tím je zajištěna i hygienická čistota celého přívodního potrubí a nutnost čištění rozvodů se tím prodlouží až o několik let. Další funkcí je ochrana samotné větrací jednotky, kde by v případě absence filtrů docházelo k zanášení výměníku a ložisek umístěných v jednotce. Z tohoto důvodu je nutné použití filtru nejen pro přívodní vzduch, ale i pro vzduch odváděný. [25] [26]

Doporučený interval výměny filtrů je závislý především na okolních podmínkách. Pro zamezení nadměrného zanášení je standardně doporučována výměna každých 2-6 měsíců. Dle nároků na čistotu přiváděného vzduchu se volí odpovídající třída filtrace. Přehled nejčastěji používaných tříd, včetně jejich účinků, je zaznamenán v tabulce č. 4. Výrobci větracích jednotek nejčastěji nabízejí filtry třídy G4, popřípadě M5 pro přívodní vzduch a filtry třídy G4 pro odváděný vzduch. Pro uživatele s vyššími nároky na čistotu přiváděného vzduchu (alergici, astmatici) mohou být nabízeny filtry s třídou filtrace F7. [25] [26]

Tabulka 4: Třídy filtrů, vlastnosti filtrů a příklady použití [26]

Skupina filtru	Třída filtrace	Příklad odloučených látek	Doporučené použití vzduchových filtrů
G Filtry pro hrubý prach	G1 + G2	Listy, hmyz, textilní vlákna, písek, létavý popílek, vodní kapky, vlasy	Pouze pro základní použití – např. ochrana před hmyzem.
	G3 + G4	Květní pyl, pyl, mlha	Základní filtrace – dostatečné pro odvodní filtr
F Filtry pro jemný prach	M5	Výtrusy, cementový prach, částice způsobující usazování prachu	Vhodné pro přívodní vzduch.
	M6	Větší bakterie, zárodky na nosných částicích, frakce prachu PM 10	
	F7	Nahromaděné saze, prach procházející plicemi, frakce prachu PM 2,5, jemná frakce cementového prachu	Vhodné pro přívodní vzduchu.
	F8 + F9	Hrubá frakce tabákového kouře a kysličníků kovů, olejový kouř, bakterie	Vyšší třída filtrace, v residenčním sektoru se příliš nepoužívají.

## 6 Měření

### 6.1 Metodika měření

Na základě výše uvedených poznatků byla provedena jednotlivá měření. Ta byla postupně provedena u třech vybraných rodinných domů za jejich běžného provozu. Všechny domy shodně využívaly systém řízeného rovnotlakého větrání s rekuperační jednotkou Ventbox 300.

Všechna měření byla provedena řídicí jednotkou rekuperační jednotky Ventbox 300 a připojenými senzory. Řídicí jednotka umožňuje ukládání dat ze svých vlastních čidel i periferně připojených senzorů na svou vnitřní paměť, kvůli možnosti vzdálené diagnostiky poruchy. Měřená data se zapisovala na interní paměť v intervalu deseti minut a ukládala se do textového dokumentu formátu CSV. Přímo v rekuperační jednotce a jejích jednotlivých částech jsou umístěny čidla umožňující měření a ukládání následujících hodnot a údajů: teplota odváděného vzduchu před výměníkem  $T_{i1}$  [°C], teplota čerstvého přiváděného vzduchu před výměníkem za přehřevem  $T_{e1}$  [°C], teplota odváděného vzduchu za výměníkem  $T_{i2}$  [°C], teplota čerstvého přiváděného vzduchu za výměníkem  $T_{e2}$  [°C] a výkon ventilátorů [%].

#### 6.1.1 Měření vybraných parametrů vnitřního prostředí

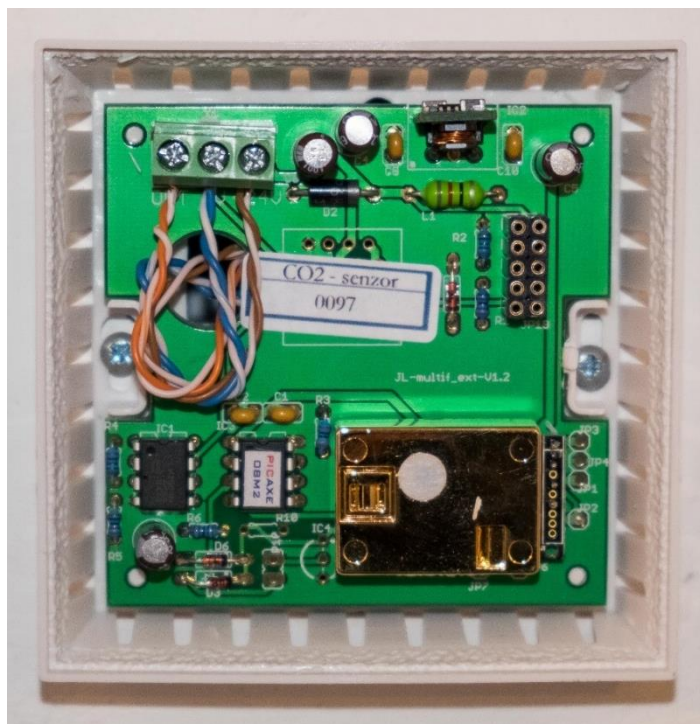
Prvním měřením bylo měření vybraných parametrů vnitřního prostředí. To mělo za cíl posoudit naplnění jednotlivých požadavků a porovnání hodnot naměřených s hodnotami doporučenými, či předepsanými. Zároveň byly sledovány i ostatní hodnoty měřené řídicí jednotkou. Především pak aktuální výkon rekuperační jednotky a vliv vybraného způsobu řízení jednotky na měřené parametry. Měření trvalo pro každý měřený dům přesně jeden týden, během kterého byly sledovány a každých 10 minut zapisovány hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub> a relativní vlhkosti ve vybraných místnostech domu.

##### Měření koncentrace CO<sub>2</sub>

Prvním měřeným parametrem vnitřního prostředí byla koncentrace CO<sub>2</sub>, jako jeden z hlavních ukazatelů kvality vnitřního ovzduší. V každém měřeném domě byla vybrána jedna obytná místnost, ve které byl zároveň nainstalován senzor koncentrace CO<sub>2</sub>. Použité senzory byly standardní výrobcem dodávané polovodičové senzory typu TW-CO2-24 od firmy ThermWet (viz. obr. 12), určené pro použití ve vzduchotechnických aplikacích.



Obrázek 12: Senzor TW-CO2-24 od firmy ThermWet



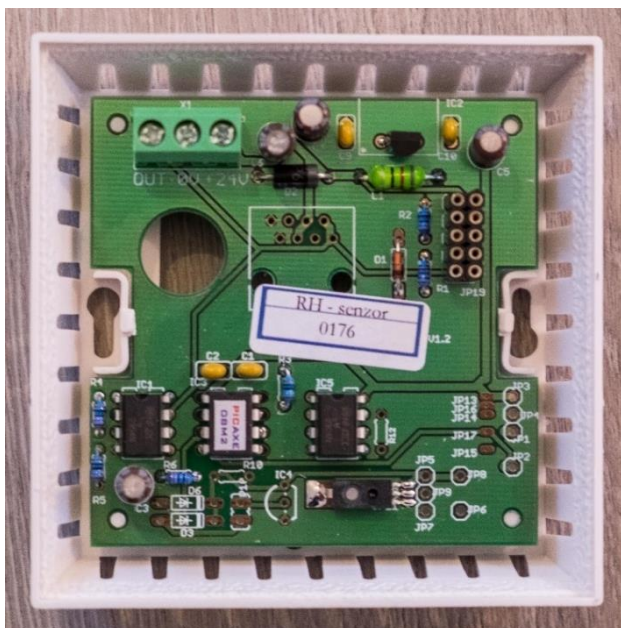
Senzor je používán nejčastěji ve spojení s plynulou regulací rekuperační jednotky s cílem dosažení požadované kvality vnitřního ovzduší. Doporučené umístění je do místností s volnou cirkulací vzduchu. Instalováno by mělo být na zdi v úrovni 1,2 až 1,5 m od podlahy. Propojení s rekuperační jednotkou bylo realizováno sdělovacím kabelem J-Y(ST)-Y 2x2x0,8. Senzor TW-CO2-24 umožňuje měření aktuální koncentrace CO<sub>2</sub> v rozsahu 400 až 2 000 ppm, s přesností  $\pm 50 \text{ ppm} + 2 \% \text{ z hodnoty}$ . Pro zachování dostatečné přesnosti měření je senzor automaticky kalibrován čerstvým vzduchem každých 14 dní [27].

Cílem tohoto měření bylo pozorování průběhu koncentrace CO<sub>2</sub> ve vybrané obytné místnosti a dodržování doporučených hodnot při chodu systému řízeného větrání.

#### **Měření relativní vlhkosti**

Druhým měřeným parametrem vnitřního prostředí byla relativní vlhkost, jako další významný ukazatel kvality vnitřního ovzduší. V každém měřeném domě byla vybrána jedna koupelna, ve které byl zároveň nainstalován senzor relativní vlhkosti vzduchu, potřebný pro dané měření. Použité senzory byly standardní výrobcem dodávaná elektronická vlhkostní čidla ovládaná lineárním napětím typu TW-HYG-24 od firmy ThermWet (viz. obr. 13).

Obrázek 13: Senzor TW-HYG-24 od firmy ThermWet



Doporučené umístění je do místností s volnou cirkulací vzduchu. Instalováno by mělo být na zdi ve výšce alespoň 2 metry od podlahy. Dále je doporučeno umístění v blízkosti odsávacího zařízení, případně okna. V okolí senzoru se nesmí nacházet žádný tepelný zářič. Propojení s rekuperační jednotkou bylo realizováno sdělovacím kabelem J-Y(ST)-Y 2x2x0,8. Senzor TW-HYG-24 umožňuje měření relativní vlhkosti vzduchu v rozsahu 20 až 95 % s přesností 5 %. [28]

Cílem tohoto měření bylo pozorování vývoje relativní vlhkosti ve vybrané místnosti při chodu systému řízeného větrání. Především pak dodržování doporučených hodnot. Vzhledem ke skutečnosti, že krátkodobé zvýšení relativní vlhkosti nad doporučenou úroveň je přípustné, byla v případě překročení maximální doporučené úrovně pozorována délka trvání tohoto překročení.

### 6.1.2 Měření provozu rekuperační jednotky

Druhé měření mělo za cíl získat potřebné hodnoty jako podklad pro ekonomické zhodnocení investice do systému řízeného větrání se zpětným získáváním tepla. Za tímto účelem byly použity čidla umístěná přímo v rekuperační jednotce. Jednalo se o čidla teplot na jednotlivých hrdlech jednotky, pro výpočet průměrného tepelného faktoru v průběhu otopného období. Dále se jednalo o čidla měřící aktuální výkon ventilátorů, pro výpočet roční spotřeby elektrické energie potřebné pro provoz rekuperační jednotky.

Měření trvalo přesně jeden rok, kvůli získání kompletního vzorku dat a možnosti výpočtu prosté doby návratnosti co nejbližší k reálným podmínkám. Řídící jednotka ukládala data ze sledovaných čidel každých 10 minut v průběhu celého roku. Kvůli velkému množství dat a časové náročnosti bylo roční měření provedeno pouze pro jeden z měřených domů.

## 6.2 Ekonomické zhodnocení

Při výběru jednotlivých technologií investor často staví do popředí ekonomický aspekt celé investice. Jednou z možností, jak získat přehled o ekonomické výhodnosti dané investice, je výpočet prosté doby návratnosti. Z toho důvodu bude porovnávána roční úspora větracího systému využívajícího zpětného získávání tepla oproti větrání přirozenému. [29]

Na základě hodnot získaných v průběhu celoročního měření (viz. kapitola 6.1.2) byla vypočítána prostá doba návratnosti.

### 6.2.1 Investiční a provozní náklady

V první kroku je potřeba zjistit počáteční investiční náklady  $C_{in}$ . Ty se skládají z dvou hlavních částí, a to nákladů na pořízení materiálu a nákladů na služby spojené s návrhem a instalací celého systému. Tyto položky obvykle nalezneme v položkovém rozpočtu a cenové nabídce.

Roční provozní náklady  $C_R$  vypočteme dle vztahu:

$$C_R = C_e + C_{\dot{u}} \quad (7)$$

kde:  $C_e$  – náklady na elektrickou energii pro provoz rekuperační jednotky [Kč];

$C_{\dot{u}}$  – náklady na roční údržbu systému [Kč].

Roční náklady na elektrickou energii potřebnou pro provoz rekuperační jednotky výrazně ovlivňuje i způsob, jakým uživatel daný systém používá a ovládá. Tyto náklady vypočteme ze vztahu:

$$C_e = \sum P_{RJ} \cdot n_h \cdot C_{kWh} \quad (8)$$

kde:  $P_{RJ}$  – příkon rekuperační jednotky [kW];

$n_h$  – počet hodin při daném příkonu v daném kalendářním roce [h];

$C_{kWh}$  – průměrná cena za 1 kWh elektrické energie [Kč].

## 6.2.2 Náklady na pokrytí tepelné ztráty větráním

### Tepelné ztráty větráním

Pro vyčíslení finanční úspory, plynoucí z používání systému se zpětným získáváním tepla, je nutné porovnat tepelné ztráty větráním bez systému rekuperace a se systémem rekuperace. K tomu bylo využito denostupňové metody. Pro odpovídající porovnání je počítáno se stejnou intenzitou výměny vzduchu v obou případech. Tepelné ztráty větráním za jeden kalendářní rok získáme ze vztahu:

$$Q_v = \frac{V_v \cdot \rho \cdot c \cdot D \cdot 24 \cdot (1 - \eta_{zzt})}{3600 \cdot 1000} \quad (9)$$

kde:  $Q_v$  – tepelné ztráty větráním v otopném období [kWh];

$V_v$  – průměrná výměna vzduchu v otopném období [ $\text{m}^3/\text{h}$ ];

$\rho$  – průměrná hustota vzduchu v otopném období [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];

$c$  – měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kg.K];

$\eta_{zzt}$  – účinnost zpětného získávání tepla [-];

$D$  – počet denostupňů [-].

### Denostupně

Výpočet denostupňů je prováděn na základě databáze denních průměrných venkovních teplot v otopném období. Výpočet se provádí zvlášť pro každý den ze zadaného období dle vztahu:

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) \quad (10)$$

kde:  $t_{is}$  – navrhovaná průměrná vnitřní teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$t_{es}$  – průměrná venková teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$d$  – počet dnů otopného období [-].

Pro výpočet denostupňů bylo využito kalkulačního nástroje *Výpočet denostupňů* (viz. obr. č. 14). Tento výpočetní nástroj slouží ke stanovení počtu denostupňů a počtu topných dnů.

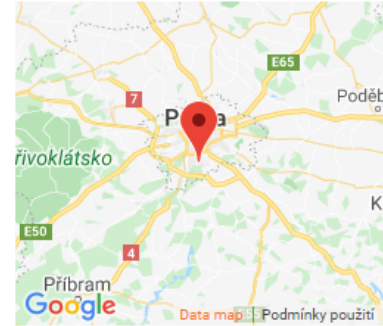
Obrázek 14: Kalkulační nástroj Výpočet denostupňů [30]

Stanice  ▾

[Teorie k výpočetní pomůcce](#)

**Zadání (rozsah dat v databázi: od 01.12.2005 do 31.05.2019)**

Otopné období	Začátek	Konec
<input type="text" value="-- Vlastní zadání --"/> ▾	<input type="text" value="01"/> ▾ <input type="text" value="09"/> ▾ <input type="text" value="2018"/> ▾	<input type="text" value="31"/> ▾ <input type="text" value="05"/> ▾ <input type="text" value="2019"/> ▾
Délka intervalu: 3 dny až 1200 dní		



Průměrná teplota v interiéru $t_{is}$ : <input type="text" value="21.0"/> °C	vážený průměr <a href="#">vnitřních výpočtových teplot</a> (podle objemů místnosti)
Referenční teplota $t_{em}$ : <input type="text" value="13.0"/> °C	<a href="#">dle vyhlášky č. 194/2007</a> $t_{em} = 13$ °C (průměrná denní teplota venkovního vzduchu pro zahájení a ukončení dodávky tepla)

Pro výpočet je nutné nejprve zadat měřící stanici, pro kterou bude proveden výpočet. Dále je nutné zadat začátek a konec otopného období, navrhanou průměrnou vnitřní teplotu a průměrnou venkovní teplotu. [30]

### Teplotní faktor výměníku

Pro zjištění zpětně získaného tepla použijeme výpočet teplotní faktoru  $\Phi$ , který je často označován také jako účinnost zpětného získávání tepla  $\eta_{zst}$  nebo jako teplotní účinnost. Je definován jako poměr rozdílu teplot na zvolené straně tepelného výměníku k maximálnímu rozdílu teplot. Teplotní faktor pro přívodní stranu výměníku  $\Phi_e$  dostáváme vztah:

$$\Phi_e = \frac{\Delta t_e}{\Delta t_{max}} = \frac{t_{e2} - t_{e1}}{t_{o1} - t_{e1}} \quad (11)$$

kde:  $\Delta t_e$  – rozdíl teplot na přívodní straně výměníku [°C];

$\Delta t_{max}$  – maximální rozdíl teplot [°C];

$t_{e2}$  – teplota čerstvého přiváděného vzduchu, za výměníkem [°C];

$t_{e1}$  – je teplotou čerstvého přiváděného vzduchu, před výměníkem [°C];

$t_{o1}$  – je teplotou vzduchu odváděného z větraných prostor, před výměníkem [°C];

$t_{o2}$  – je teplota odváděného vzduchu, za výměníkem [°C].

### Náklady na pokrytí tepelných ztrát větráním

Na základě vypočítaných hodnot tepelných ztrát větráním získáme náklady na pokrytí takto vzniklých tepelných ztrát dle vztahu:

$$C_{vyt} = Q_v \cdot C_{kWhzp} \quad (12)$$

kde:  $C_{vyt}$  – náklady na vytápění tepelných ztrát větráním [Kč];

$Q_v$  – tepelné ztráty větráním v otopném období [kWh];

$C_{kWhzp}$  – průměrná cena za 1 kWh zemního plynu [Kč].

## 6.2.3 Prostá doba návratnosti

### Roční finanční bilance

Z výše vypočtených hodnot můžeme sestavit roční finanční bilanci, tedy finanční úsporu plynoucí z provozu systému se zpětným získáváním tepla:

$$C_{rok} = C_{vyt} - C_{vyt,rek} - C_R \quad (13)$$

kde:  $C_{rok}$  – roční finanční bilance [Kč/rok];

$C_{vyt}$  – náklady na pokrytí tepelné ztráty systému bez zpětného získávání tepla [Kč];

$C_{vyt,rek}$  – náklady na pokrytí tepelné ztráty systému se zpětným získáváním tepla [Kč];

$C_R$  – roční provozní náklady [Kč].

### Prostá doba návratnosti

V závěrečném kroku vypočteme prostou dobu návratnosti  $t_n$  [rok]:

$$t_n = \frac{C_{in}}{C_{rok}} \quad (14)$$

kde:  $C_{in}$  – náklady na počáteční investici [Kč]. Ta charakterizuje ekonomickou výhodnost dané investice z dlouhodobého hlediska. Pokud je výsledek prosté doby návratnosti delší než životnost daného systému, je tato investice z ekonomického hlediska považována za neefektivní.

## 6.3 Charakteristika měřených objektů

### 6.3.1 Prvky měřených větracích systémů

U všech tří měřených rodinných domů byl nainstalován obdobný systém řízeného větrání se zpětným získáváním tepla od firmy ThermWet s.r.o. Hlavní prvky navržených systémů jsou popsány v následujících kapitolách.

## Rekuperační jednotka Ventbox 300

Hlavním prvkem u všech měřených domů je rekuperační jednotka Ventbox 300 vyráběná firmou ThermWet s.r.o. určená pro větrání v obytných a kancelářských prostorech s udávaným vzduchovým výkonem 300 m<sup>3</sup>/h. Jednotka je určena pro provoz v rozsahu teplot od -25 °C do 50 °C při běžné vlhkosti vzduchu. Jednotka je určena k instalaci na stěnu do prostoru s minimální teplotou 5 °C.

Obrázek 15: Rekuperační jednotka Ventbox 300 [14]



## Konstrukce

Korpus jednotky je vyroben z vysoce kvalitního extrudovaného polystyrenu (XPS), což zároveň slouží jako nezbytná tepelná a protihluková izolace. Pro čištění protékajícího vzduchu jsou v jednotce umístěny tři filtry (přívodní M5, odvodní M5, bypass M5). Pro obtok výměníku odváděným vzduchem je v jednotce instalována obtoková klapka (Bypass). Jako protimrazová ochrana jednotky slouží úsporný PTC článek, sloužící k přehřevu vzduchu před vstupem do výměníku. Pro přenos tepla je použit protiproudý deskový výměník z houževnatého polystyrenu s tvarovou pamětí. Proudění vzduchu zajišťují dva bezúdržbové radiální ventilátory 230 V EC s integrovanou elektronickou regulací v rozsahu 0-10 V. O řízení chodu jednotky se stará řídicí jednotka.

## Možnosti řízení jednotky

Jednotku lze plně automaticky řídit pomocí webového rozhraní, do kterého je vstup přes webový prohlížeč (Firefox, Chrome, Internet Explorer atd.). V závislosti na zvoleném typu přihlášení lze jednotku ovládat buď v rámci domácí sítě nebo odkudkoliv pomocí vzdáleného přístupu.

## **Manuálně**

Základní možností ovládání jednotky je volba režimu výkonu v reálném čase. Uživatel mění jednotlivé režimy v závislosti na vlastním uvážení. Režimy výkonů jsou: 25 %, 40 %, 60 %, 80 % a 100 %.

## **Denní režimy**

Pokročilou možností ovládání jednotky je nastavení denních režimů. Uživatel si může nastavit režim výkonu pro každou hodinu jednotlivých dní v týdnu. Tyto režimy se pak každý týden opakují. Výkon lze nastavit po desítkách procent v rozmezí 20 % až 100 %. Denní režimy jsou nejčastěji nastavovány dle předpokládané obsazenosti domu v průběhu jednotlivých dnů.

## **Připojenými periferiemi**

Nejpokročilejší úrovní ovládání, kterou jednotka umožňuje, je regulace pomocí připojených periferií. První možností jsou tlačítka intenzivního odtahu, která po sepnutí zvýší, na předem nastavenou dobu, výkon jednotky na nastavený výkon. Tyto tlačítka lze dále nastavit do dvou režimů, a to do režimu s odloženým náběhem a do režimu s okamžitým náběhem. Druhou možností je plynulé řízení pomocí připojených měřících čidel:

**Senzor relativní vlhkosti** – Uživatel si nastaví požadovanou úroveň relativní vlhkosti v místnosti v rozmezí 40 % až 90 %. Při překročení této hranice jednotka plynule navyšuje svůj výkon úměrně s hodnotou relativní vlhkosti až do 100 %.

**Senzor koncentrace CO<sub>2</sub>** – Uživatel si nastaví požadovanou úroveň koncentrace CO<sub>2</sub> v místnosti v rozmezí 900 ppm až 1500 ppm a zároveň nastaví výkon jednotky v rozmezí 40 % až 100 %. Při překročení této hranice jednotka plynule zvyšuje svůj výkon od základního nastaveného výkonu v závislosti na aktuální koncentraci CO<sub>2</sub>.

## **Vzduchovody a koncové prvky**

Jako vzduchovody byly u všech systémů použity ohebné plastové hadice (viz. obr. č. 16) s označením ED FLEX 90 s vnitřním průměrem 75 mm. Vzduchovody byly zapojeny paralelním typem větvení.



Jako koncové prvky byly použity pro sání i přívod talířové ventily (viz. obr. č. 16)

Obrázek 16: Plastová hadice ED FLEX 90 a průchozí stropní box



### 6.3.2 Rodinný dům Praha

Prvním měřeným objektem byl přízemní nízkoenergetický rodinný dům nacházející se v Praze (viz. příloha I). Vedení interiérových rozvodů je realizováno v izolaci nad podhledy. Rodinný dům byl regulován při 60 % výkonu jednotky. Celkový průtok při tomto výkonu a byl pro čerstvý přiváděný vzduch 199 m<sup>3</sup>/h a pro odváděný odpadní vzduch 197 m<sup>3</sup>/h. Ovládání rekuperační jednotky bylo nastaveno na kombinaci denních režimů a automatickým ovládáním připojenými periferiemi.

#### Průběh měření

Měření probíhalo ve dvou fázích. První, celoroční měření bylo uskutečněno v průběhu celého roku 2019 a bylo získáno celkem 52 560 zápisů dat. Toto měření mělo za úkol získat data o provozu jednotky, jako podklad pro ekonomické zhodnocení dané investice.

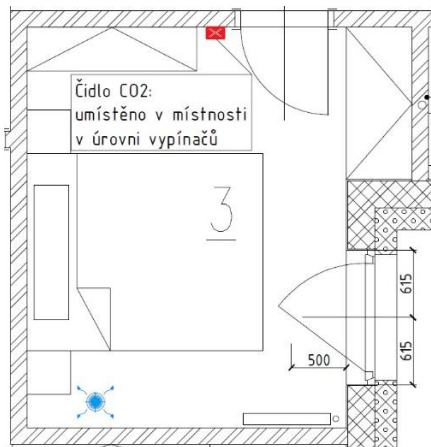
Druhé, týdenní měření bylo uskutečněno v termínu 14.10.2019 až 20.10.2019 a bylo získáno celkem 1008 zápisů dat. Toto měření mělo za úkol sledovat hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub> a relativní vlhkosti v porovnání s doporučenými hodnotami. Zároveň byl sledován vliv nastavení řízení rekuperační jednotky na tyto sledované hodnoty.

#### Koncentrace CO<sub>2</sub>

Senzor pro měření oxidu uhličitého byl umístěn v ložnici (místnost 3) (viz. obr. č. 17) na vnitřní stěně domu vedle dveří do chodby v úrovni vypínače cca 120 cm od podlahy. Do ložnice bylo vedeno jedno přívodní potrubí. Při 60 % výkonu jednotky byl průtok

přiváděného vzduchu tímto potrubím změřen na 54 m<sup>3</sup>/h. Objem místnosti byl 28,6 m<sup>3</sup>. Místnost užívaly dvě dospělé osoby.

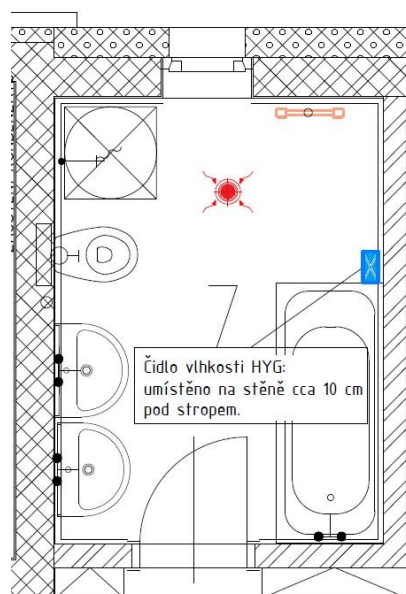
Obrázek 17: RD Praha – půdorys ložnice



### Relativní vlhkost

Senzor pro měření relativní vlhkosti byl umístěn v koupelně (místnost 7) (viz obr. č. 18) na vnitřní stěně domu přibližně 10 cm pod stropem nad vanou. V místnosti se nacházely tyto hlavní zdroje vlhkosti: WC, dvě umyvadla, vana. Do koupelny bylo vedeno jedno odvodní potrubí. Při 60 % výkonu jednotky byl průtok odváděného vzduchu změřen na 71 m<sup>3</sup>/h. objem místnosti byl 16,1 m<sup>3</sup>.

Obrázek 18: RD Praha – půdorys koupelny



### 6.3.3 Řadový rodinný dům Středočeský kraj

Třetím měřeným objektem byl přízemní řadový rodinný dům nacházející se ve Středočeském kraji (viz. příloha II). Vedení interiérových rozvodů je realizováno v instalační mezeře nad podhledy.

Rodinný dům byl regulován při 80 % výkonu jednotky. Celkový průtok při tomto výkonu byl pro čerstvý přiváděný vzduch 220 m<sup>3</sup>/h a pro odváděný odpadní vzduch 221 m<sup>3</sup>/h.

Ovládání rekuperační jednotky bylo nastaveno na kombinaci denních režimů a automatickým ovládním připojenými periferiemi.

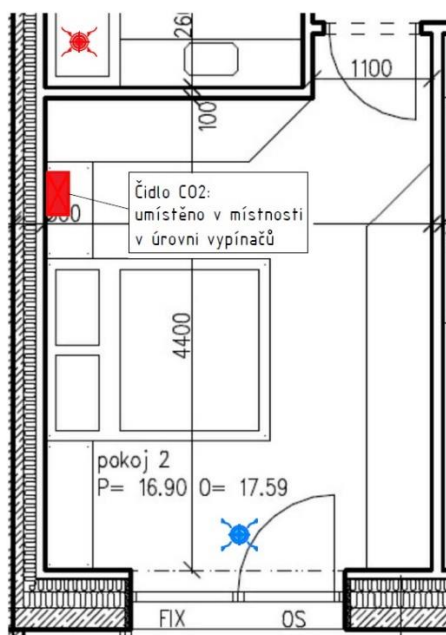
#### Průběh měření

Měření bylo uskutečněno v termínu 24.11.2019 až 30.11.2019 a bylo získáno celkem 1008 zápisů dat. Toto měření mělo za úkol sledovat hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub> a relativní vlhkosti v porovnání s doporučenými hodnotami. Zároveň byl sledován vliv nastavení řízení rekuperační jednotky na sledované hodnoty.

#### Koncentrace CO<sub>2</sub>

Senzor pro měření oxidu uhličitého byl umístěn v ložnici (Pokoj 2) (viz. obr. č. 19) na vnitřní stěně domu vedle dveří do chodby v úrovni vypínače, tedy 120 cm od podlahy. Do ložnice bylo vedeno jedno přívodní potrubí. Při 80 % výkonu jednotky byl průtok přiváděného vzduchu tímto potrubím změřen na 59 m<sup>3</sup>/h. Objem místnosti byl 43,9 m<sup>3</sup>. Místnost užívaly dvě dospělé osoby.

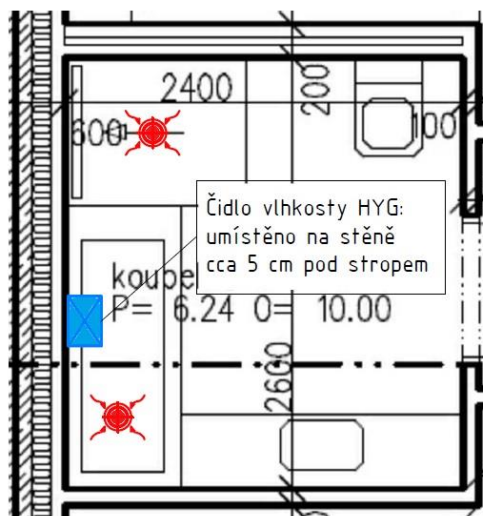
Obrázek 19: RD Středočeský kraj – půdorys ložnice



### Relativní vlhkost

Senzor pro měření relativní vlhkosti byl umístěn v koupelně (Koupelna 1) (viz. obr. č. 20) na vnitřní stěně domu přibližně 10 cm pod stropem nad vanou. V místnosti se nacházely tyto hlavní zdroje vlhkosti: WC, umyvadlo, vana a sprcha. Do koupelny bylo vedeno jedno odvodní potrubí. Při 80 % výkonu jednotky byl průtok odváděného vzduchu změřen na 45 a 41 m<sup>3</sup>/h. Objem místnosti byl 16,2 m<sup>3</sup>.

Obrázek 20: RD Středočeský kraj – půdorys koupelny



### 6.3.4 Rodinný dům kraj Vysočina – Bárta

Druhým měřeným objektem byl přízemní nízkoenergetický rodinný dům nacházející se v kraji Vysočina (viz. příloha III). Vedení interiérových rozvodů je realizováno v instalační mezeře nad podhledy.

Rodinný dům byl regulován při 80 % výkonu jednotky. Celkový průtok při tomto výkonu byl pro čerstvý přiváděný vzduch 274 m<sup>3</sup>/h a pro odváděný odpadní vzduch 260 m<sup>3</sup>/h.

Ovládání rekuperační jednotky bylo nastaveno na kombinaci denních režimů a automatickým ovládním připojenými periferiemi.

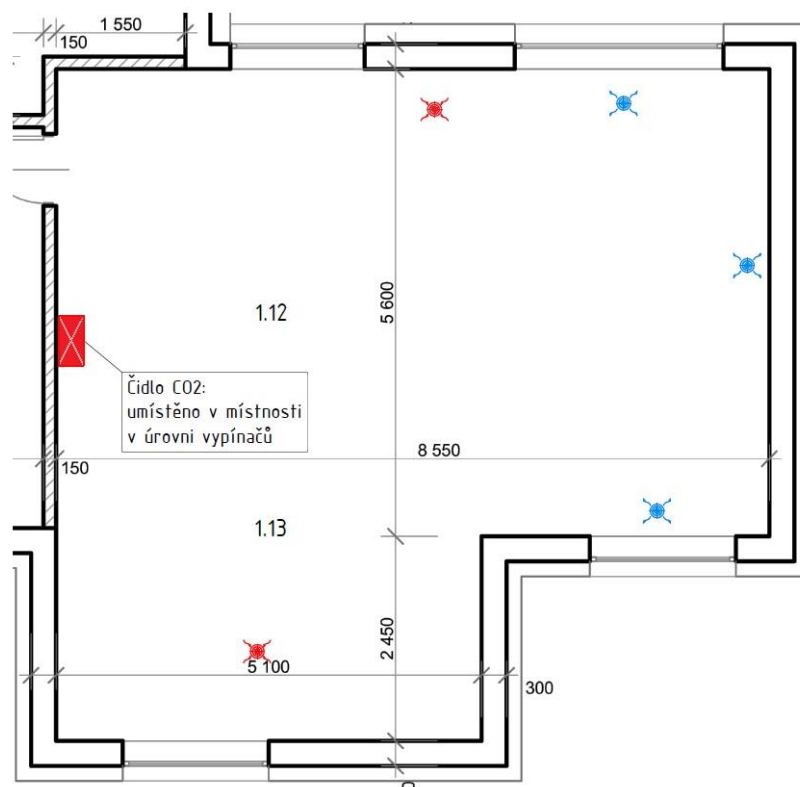
#### Průběh měření

Měření bylo uskutečněno v termínu 14.1.2020 až 20.1.2020 a bylo získáno celkem 1008 zápisů dat. Toto měření mělo za úkol sledovat hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub> a relativní vlhkosti v porovnání s doporučenými hodnotami. Zároveň byl sledován vliv nastavení řízení rekuperační jednotky na sledované hodnoty.

## Koncentrace CO<sub>2</sub>

Senzor pro měření oxidu uhličitého byl umístěn v obývacím pokoji s kuchyňským koutem (místnost 1.12 a 1.13) (viz. obr. č. 21), na vnitřní stěně domu v úrovni vypínačů, přibližně 120 cm od podlahy. Do obývacího pokoje jsou vedeny tři přívodní potrubí a dvě odvodní potrubí (pro kuchyň a krb). Při 80 % výkonu jednotky byly průtoky přiváděného a odváděného vzduchu do místnosti změřeny pro jednotlivé koncové prvky následovně: přívodní potrubí 1 49 m<sup>3</sup>/h, přívodní potrubí 2 50 m<sup>3</sup>/h, přívodní potrubí 3 40 m<sup>3</sup>/h, odvodní potrubí pro kuchyň 45 m<sup>3</sup>/h, odvodní potrubí pro krb 38 m<sup>3</sup>/h. Objem místnosti byl 157 m<sup>3</sup>. Místnost užívaly dvě dospělé osoby a jedno dítě.

Obrázek 21: RD Vysočina – půdorys obývací pokoj + kuchyňský kout

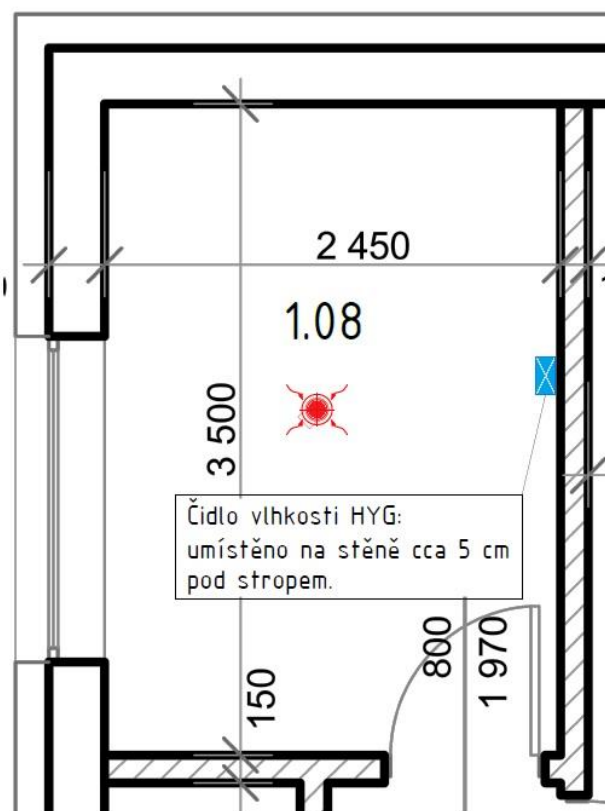


## Relativní vlhkost

Senzor pro měření relativní vlhkosti byl umístěn v koupelně (místnost 1.08) (viz. obr. č. 22) na vnitřní stěně domu přibližně 10 cm pod stropem. V místnosti se nacházely tyto hlavní zdroje vlhkosti: sprcha, vana, dvě umyvadla. Do koupelny bylo vedeno jedno odvodní potrubí

a žádné přírodní. Při 80 % výkonu jednotky byl průtok odváděného vzduchu změřen na 54 m<sup>3</sup>/h. Objem místnosti byl 22,4 m<sup>3</sup>.

Obrázek 22: RD Vysočina – půdorys koupelny



## 7 Výsledky a diskuse

### 7.1 Výsledky měření RD Praha

#### Koncentrace CO<sub>2</sub>

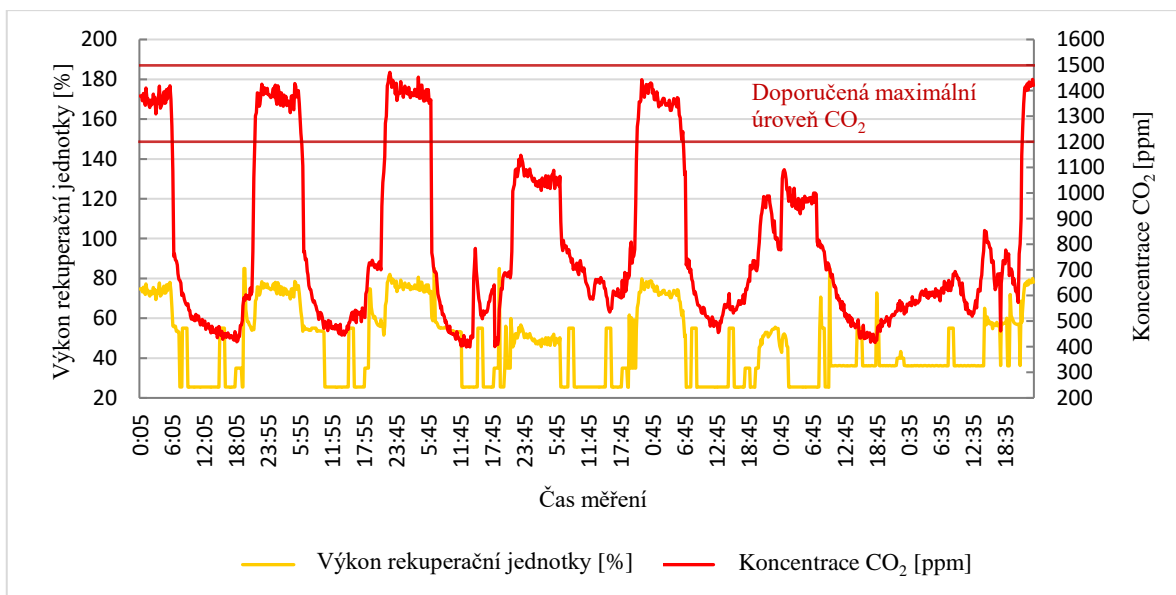
V tabulce č. 5 jsou zaznamenány maximální a minimální dosažené hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub> pro jednotlivé dny v průběhu měřeného týdne. V průběhu celého měření nebyla překročena horní hranice doporučené maximální úrovně CO<sub>2</sub> ve vnitřním prostředí. Celotýdenní průměr koncentrace CO<sub>2</sub> v měřené místnosti byl 804,3 ppm.

Tabulka 5: RD Praha – denní extrémy koncentrace CO<sub>2</sub>

	14.10.	15.10.	16.10.	17.10.	18.10.	19.10.	20.10.
Max. koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	1425.0	<b>1471.7</b>	1453.4	1442.4	1430.1	1091.4	1444.8
Min. koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	418.6	445.0	<b>399.0</b>	534.6	455.4	416.6	461.8
Průměrná koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	839.0	872.8	825.7	850.3	850.4	679.3	712.5
Průměrná odchylka [ppm]	391.8	373.4	352.0	218.0	302.8	194.7	152.0

V grafu č. 1 je znázorněn vývoj koncentrace CO<sub>2</sub> v průběhu měření v závislosti na času. Pro porovnání je zobrazen vývoj výkonu rekuperační jednotky.

Graf 1: RD Praha – závislost koncentrace CO<sub>2</sub> na času



#### Relativní vlhkost

V tabulce č. 6 jsou zaznamenány maximální a minimální dosažené hodnoty relativní vlhkosti pro jednotlivé dny v průběhu měřeného týdne. V průběhu měření byla horní hranice

doporučené maximální úrovně relativní vlhkosti ve vnitřním prostředí 60 % překročena u 71 datových záznamů. Pod dolní hranici 30 % relativní vlhkost neklesla. Celotýdenní průměr relativní vlhkosti v měřené místnosti byl 50,6 %.

Tabulka 6: RD Praha – denní extrémy relativní vlhkosti

	14.10.	15.10.	16.10.	17.10.	18.10.	19.10.	20.10.
Max. relativní vlhkost [%]	74.1	<b>74.9</b>	60.3	61.6	50.9	72.7	71.9
Min. relativní vlhkost [%]	48.2	45.2	43.8	<b>42.8</b>	45.1	46.7	48.0
Průměr relativní vlhkosti [%]	51.9	54.0	52.4	45.6	48.3	49.7	52.3
Průměrná odchylka [%]	1.8	2.0	2.4	1.9	1.4	1.3	3.8

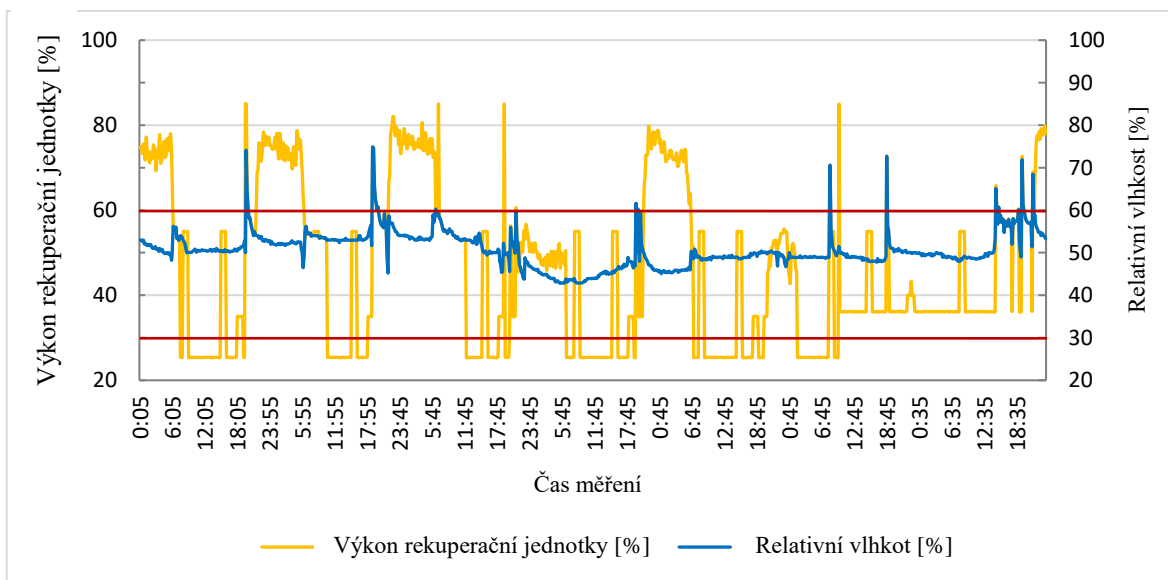
V tabulce č. 7 jsou zaznamenány četnosti výskytů překročení doporučené maximální úrovně relativní vlhkosti v případech, kdy bylo překročení zaznamenáno alespoň u dvou po sobě jdoucích záznamů.

Tabulka 7: RD Praha – délka překročení maximální doporučené úrovně relativní vlhkosti

Počet po sobě jdoucích záznamů	2	3	4	5	6
Četnost výskytu	6	7	1	0	1

V grafu č. 2 je znázorněn vývoj relativní vlhkosti v průběhu měření v závislosti na času. Pro porovnání je zobrazen vývoj výkonu rekuperační jednotky.

Graf 2: RD Praha – závislost relativní vlhkosti na času





## 7.2 Výsledky měření RD Středočeský kraj

### Koncentrace CO<sub>2</sub>

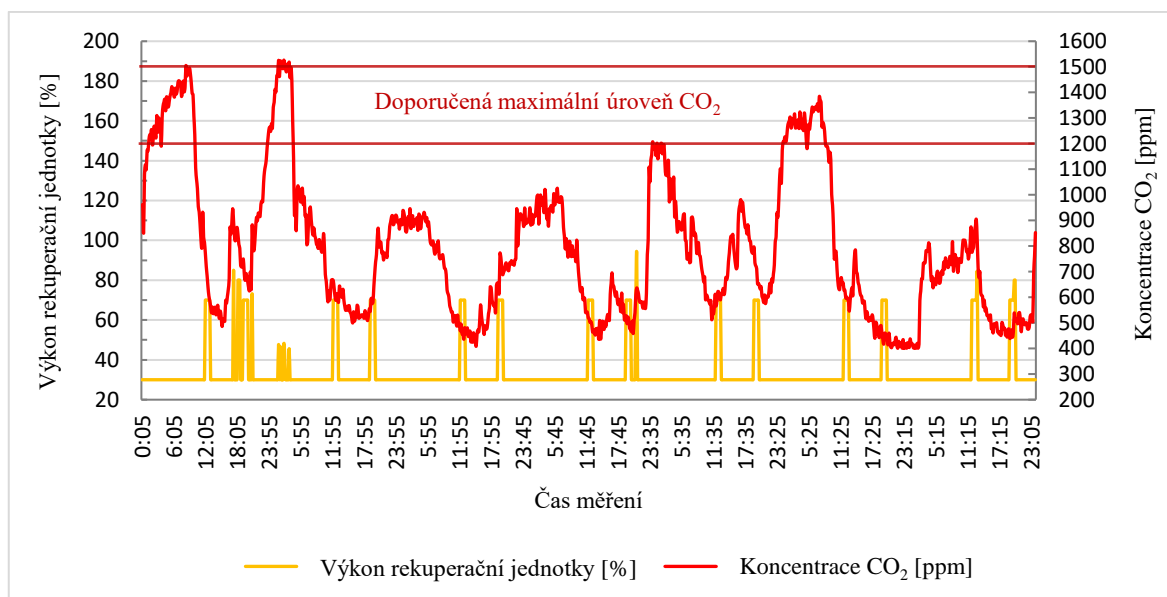
V tabulce č. 8 jsou zaznamenány maximální a minimální dosažené hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub> pro jednotlivé dny v průběhu měřeného týdne. V průběhu celého měření byla překročena horní hranice doporučené maximální úrovně CO<sub>2</sub> ve vnitřním prostředí celkem u 8 záznamů. Celotýdenní průměr koncentrace CO<sub>2</sub> v měřené místnosti byl 791,7 ppm.

Tabulka 8: RD Střední Čechy – denní extrémy koncentrace CO<sub>2</sub>

	24.11.	25.11.	26.11.	27.11.	28.11.	29.11.	30.11.
Max. koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	1505.4	<b>1526.3</b>	946.2	1155.4	1207.2	1383.2	903.8
Min. koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	485.9	499.4	409.1	435.5	513.2	400.9	<b>400.8</b>
Průměrná koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	1003.9	860.1	700.0	717.0	814.4	834.0	612.6
Průměrná odchylka [ppm]	283.6	250.0	153.5	181.5	154.5	346.8	128.6

V grafu č. 3 je znázorněn vývoj koncentrace CO<sub>2</sub> v průběhu měření v závislosti na času. Pro porovnání je zobrazen vývoj výkonu rekuperační jednotky.

Graf 3: RD Střední Čechy – závislost koncentrace CO<sub>2</sub> na času



### Relativní vlhkost

V tabulce č. 9 jsou zaznamenány maximální a minimální dosažené hodnoty relativní vlhkosti pro jednotlivé dny v průběhu měřeného týdne. V průběhu měření byla horní hranice doporučené maximální úrovně relativní vlhkosti ve vnitřním prostředí 60 % překročena u 18 datových záznamů. Pod dolní hranici 30 % relativní vlhkost neklesla. Celotýdenní průměr relativní vlhkosti v měřené místnosti byl 41,1 %.

Tabulka 9: RD Střední Čechy – denní extrémy relativní vlhkosti

	24.11.	25.11.	26.11.	27.11.	28.11.	29.11.	30.11.
Max. relativní vlhkost [%]	73.2	72.2	62.7	<b>93.1</b>	62.5	45.6	82.9
Min. relativní vlhkost [%]	40.2	40.5	36.6	37.1	38.0	35.8	<b>32.6</b>
Průměr relativní vlhkosti [%]	44.2	43.8	40.9	40.2	42.1	40.1	36.6
Průměrná odchylka [%]	3.5	2.8	2.2	3.3	3.2	1.9	3.3

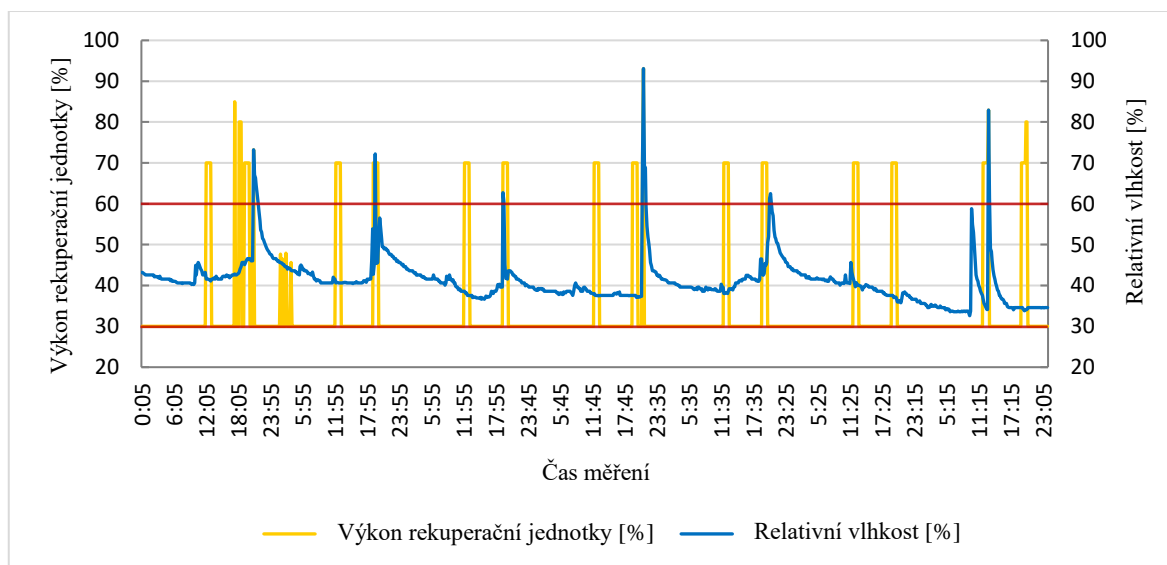
V tabulce č. 10 jsou zaznamenány četnosti výskytů překročení doporučené maximální úrovně relativní vlhkosti v případech, kdy bylo překročení zaznamenáno alespoň u dvou po sobě jdoucích záznamů.

Tabulka 10: RD Střední Čechy – délka překročení maximální doporučené úrovně relativní vlhkosti

Počet po sobě jdoucích záznamů	2	3	4	5	6
Četnost výskytu	2	1	1	0	1

V grafu č. 4 je znázorněn vývoj relativní vlhkosti v průběhu měření v závislosti na času. Pro porovnání je zobrazen vývoj výkonu rekuperační jednotky.

Graf 4: RD Střední Čechy – závislost relativní vlhkosti na času



## 7.3 Výsledky měření RD kraj Vysočina

### Koncentrace CO<sub>2</sub>

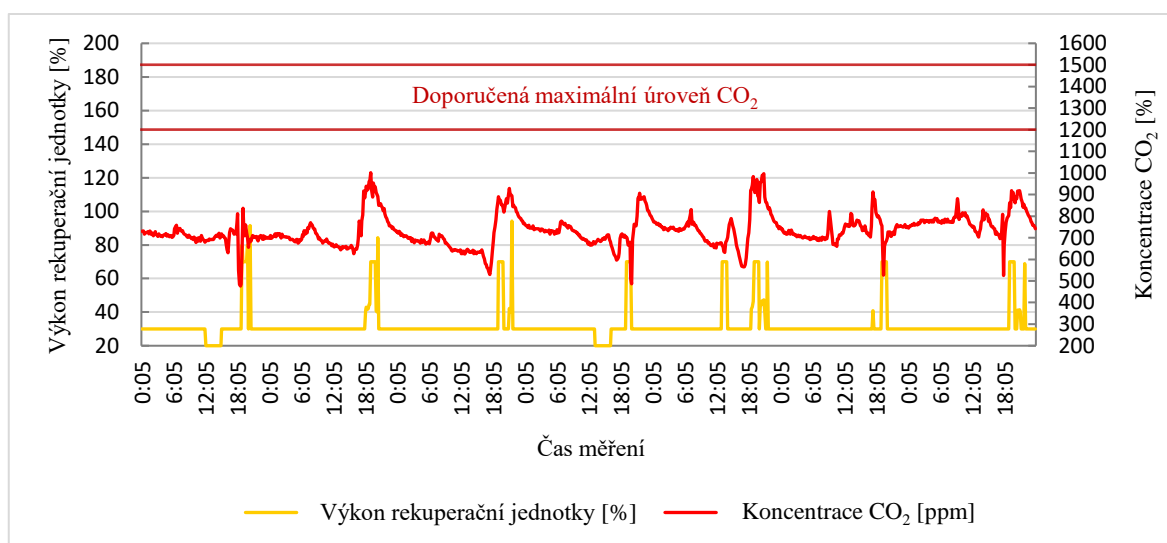
V tabulce č. 11 jsou zaznamenány maximální a minimální dosažené hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub> pro jednotlivé dny v průběhu měřeného týdne. V průběhu celého měření nebyla překročena horní hranice doporučené maximální úrovně CO<sub>2</sub> ve vnitřním prostředí. Celotýdenní průměr koncentrace CO<sub>2</sub> v měřené místnosti byl 733,2 ppm.

Tabulka 11: RD Vysočina – denní extrémy koncentrace CO<sub>2</sub>

	13.1.	14.1.	15.1.	16.1.	17.1.	18.1.	19.1.
Max. koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	836.7	<b>1001.0</b>	928.7	905.4	997.2	911.3	918.4
Min. koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	<b>476.3</b>	625.4	530.1	486.9	564.9	526.4	524.5
Průměrná koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	703.7	735.0	704.5	726.5	748.9	730.2	783.9
Průměrná odchylka [ppm]	21.8	65.2	65.9	45.3	64.3	33.7	35.9

V grafu č. 5 je znázorněn vývoj koncentrace CO<sub>2</sub> v průběhu měření v závislosti na času. Pro porovnání je zobrazen vývoj výkonu rekuperační jednotky.

Graf 5: RD Vysočina – závislost koncentrace CO<sub>2</sub> na času



## Relativní vlhkost

V tabulce č. 12 jsou zaznamenány maximální a minimální dosažené hodnoty relativní vlhkosti pro jednotlivé dny v průběhu měřeného týdne. V průběhu měření byla horní hranice doporučené maximální úrovně relativní vlhkosti ve vnitřním prostředí 60 % překročena u 17 datových záznamů. Pod dolní hranici 30 % relativní vlhkost neklesla. Celotýdenní průměr relativní vlhkosti v měřené místnosti byl 38,4 %.

Tabulka 12: RD Vysočina – denní extrémy relativní vlhkosti

	13.1.	14.1.	15.1.	16.1.	17.1.	18.1.	19.1.
Max. relativní vlhkost [%]	91.6	84.3	<b>94.2</b>	58.8	69.9	67.6	68.8
Min. relativní vlhkost [%]	36.7	33.8	<b>32.8</b>	33.7	33.4	35.0	35.3
Průměr relativní vlhkosti [%]	40.2	38.8	37.2	37.8	36.9	39.5	38.1
Průměrná odchylka [%]	3.0	2.7	2.5	2.0	2.1	4.0	2.4

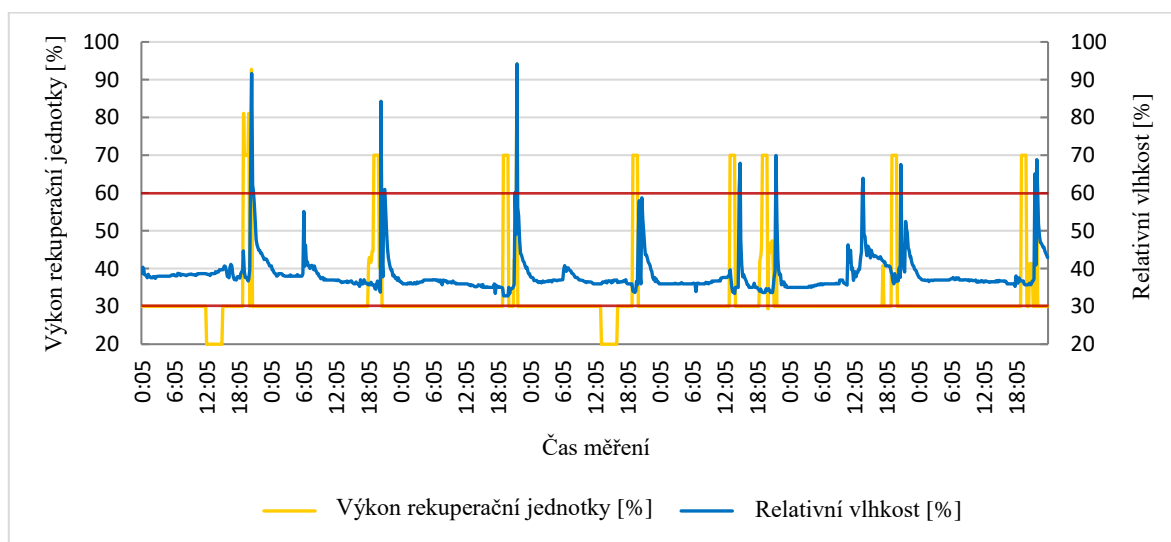
V tabulce č. 13 jsou zaznamenány četnosti výskytů překročení doporučené maximální úrovně relativní vlhkosti v případech, kdy bylo překročení zaznamenáno alespoň u dvou po sobě jdoucích záznamů.

Tabulka 13: RD Vysočina – délka překročení maximální doporučené úrovně relativní vlhkosti

Počet po sobě jdoucích záznamů	2	3	4
Četnost výskytu	3	0	1

V grafu č. 6 je znázorněn vývoj relativní vlhkosti v průběhu měření v závislosti na času. Pro porovnání je zobrazen vývoj výkonu rekuperační jednotky.

Graf 6: RD Vysočina – závislost relativní vlhkosti na času



## 7.4 Ekonomické zhodnocení

### Investiční náklady

Investiční náklady se skládají ze dvou hlavních částí, a to nákladů na pořízení materiálu a nákladů na služby spojené s návrhem a instalací celého systému. Tyto položky byly odečteny z příslušné cenové nabídky od firmy ThermWet. V případě systému na klíč, tedy montáže provedené dodavatelskou firmou, činní investiční náklady  $C_{i,k}$  včetně DPH:

$$C_{i,k} = 136\,936 \text{ Kč}$$

Mnohé firmy, včetně firmy ThermWet také nabízejí i možnost montáže svépomocí, což představuje významnou finanční úsporu. Investiční náklady při montáži svépomocí činní včetně DPH:

$$C_{i,s} = 98\,128 \text{ Kč}$$

Investiční náklady navíc mohou zcela zásadně ovlivnit i dotace, nejčastěji pak z programu Ministerstva životního prostředí Nová zelená úsporám, kde je možné na systém nuceného větrání se zpětným získáváním tepla získat až 50 % z celkových investičních nákladů. Za předpokladu konečné regulace systému dodavatelskou firmou lze o tuto dotaci žádat i při montáži svépomocí. Investiční náklady při montáži svépomocí s dotací z programu NZÚ včetně DPH činní:

$$C_{i,s,NZÚ} = 50\,564 \text{ Kč}$$

### **Roční provozní náklady**

Roční provozní náklady na provoz rekuperační jednotky se skládají z nákladů na údržbu a nákladů na elektrickou energii pro provoz rekuperační jednotky.

#### **Náklady na údržbu**

Do ročních nákladů na údržbu byla počítána pouze výměna filtrů pro rekuperační jednotku Ventbox 300. Cena roční sady filtrů, která se skládá z dvou filtrů přívodních, dvou odvodních a jednoho pro by-pass, je 1990 Kč bez DPH. Jedná se o skládané filtry s třídou filtrace M5, což je základní výrobcem doporučená třída. Předpokládaná výměna filtrů je každých 6 měsíců. Po připočtení DPH byly vypočteny roční náklady na údržbu:

$$C_{ú} = 2\,408 \text{ Kč/rok.}$$

Do nákladů na údržbu nebyly vzaty v potaz vícenáklady na čištění tepelného výměníku, čištění rozvodů potrubí ani servisní výjezdy při poruše po uplynutí záruční doby, a to zejména kvůli nemožnosti vyčíslení přesných nákladů i četnosti těchto úkonů.

#### **Náklady na elektrickou energii**

V průběhu ročního měření byla měřena doba provozu jednotky v jednotlivých procentuálních výkonech. Rekuperační jednotka byla osazena ventilátory s EC motorem, které umožňují plynulou regulaci. Z důvodu větší přehlednosti výpočtů byla, namísto přesných procentuálních výkonů, zvolena jednotlivá rozmezí výkonů (viz. tabulka 8), pro která byla měřena doba provozu. Příkon byl odečten vždy pro zastupující hodnotu daného rozmezí výkonů, která je uvedena ve sloupci Výpočtový výkon [%]. Jednotlivé hodnoty příkonu byly odečteny z technického listu jednotky Ventbox 300 poskytovaného výrobcem.

Tabulka 14: Roční spotřeba elektrické energie rekuperační jednotky Ventbox 300

Výpočtový výkon [%]	Rozmezí výkonu [%]	Průtok vzuchu [m <sup>3</sup> /h]	Příkon [W]	Doba provozu [h]	Spotřeba elektrické energie [kWh]
0	0-15	0	0	94.50	0.00
20	15,1-25	100	29	2 619.52	75.97
30	25,1-35	125	37	1 969.89	72.89
40	35,1-45	150	44	1 170.38	51.50
50	45,1-55	175	49	1 180.54	57.85
60	55,1-65	200	57	824.74	47.01
70	65,1-75	225	67	703.14	47.11
80	75,1-85	250	80	176.29	14.10
90	85,1-95	275	90	10.84	0.98
100	95,1-100	300	106	10.16	1.08
				Součet:	368.47

Po sečtení dílčích výsledků vyšla celková roční spotřeba elektrické energie 368,47 kWh. Do této hodnoty není započítána spotřeba protimrazové ochrany – předehřevu, která je dle výrobce v závislosti na venkovních teplotách přibližně 100 kWh za rok. Průměrná cena za 1 kWh elektrické energie byla v roce 2019 v České republice 3,97 Kč. Po dosazení do vztahu (8) dostáváme celkové roční náklady na elektrickou energii na:

$$C_e = 368,47 \cdot 3,97$$

$$C_e = 1\,462,83 \text{ Kč/rok.}$$

Následně po dosazení do vztahu (8) dostáváme celkové roční náklady na:

$$C_R = 1\,462,83 + 2\,408$$

$$C_R = 3\,870,83 \text{ Kč/rok.}$$

### Náklady na pokrytí tepelné ztráty větráním

Pro vyčíslení roční finanční úspory bylo nejprve nutné vypočítat tepelné ztráty větráním s využitím zpětného získávání tepla a bez. K tomu bylo potřeba vypočítat teplotní faktor měřeného tepelného výměníku a počet denostupňů pro měřené období.

#### Denostupně

Pro výpočet denostupňů byl použit kalkulační nástroj *Výpočet denostupňů*. Pro výpočet byla zvolena nejbližší meteorologická stanice k měřenému rodinnému domu a tou byla stanice Praha – Libuš. Průměrná teplota v interiéru během otopného období  $t_{is}$  byla zvolena 21 °C. Referenční venkovní teplota  $t_{em}$  byla zvolena 13 °C. Období pro výpočet bylo vybráno otopné období 2018/2019, což bylo nejaktuálnější období, které bylo možné zvolit. Vypočtené denostupně pro jednotlivé měsíce a celé měřené období jsou zaneseny v Tabulce denostupňů (viz. tabulka 15).

Tabulka 15: Tabulka denostupňů [30]

Tabulka denostupňů

Měsíc	Zadané období			Normál 1961 - 1990 (Praha - Karlov)		
	Denostupně D <sub>21.0</sub>		Průměrná teplota	Denostupně D <sub>21.0</sub>		Průměrná teplota
	[D . K]	[dny]	[°C]	[D . K]	[dny]	[°C]
09/2018	50.90	5	16.4	24.50	3	14.8
10/2018	274.70	26	11.2	350.30	31	9.7
11/2018	468.50	30	5.4	497.70	30	4.4
12/2018	553.90	31	3.1	622.60	31	0.9
01/2019	646.00	31	0.2	678.30	31	-0.9
02/2019	498.30	28	3.2	585.30	29	0.8
03/2019	426.50	31	7.2	508.70	31	4.6
04/2019	263.90	25	10.9	352.60	30	9.2
05/2019	231.10	22	11.6	65.10	8	14.2
	<b>3413.80</b>	<b>229</b>	<b>7.7</b>	<b>3685.10</b>	<b>224</b>	<b>6.4</b>

### Teplotní faktor výměníku

Pro zjištění teplotní faktoru  $\Phi$  bylo využito měřených teplot na jednotlivých hrdlech jednotky, které jsme získali při celoročním měření. Z důvodů větší přesnosti a lepší výpovědní hodnoty bylo nutné data nejdříve vyfiltrovat podle specifických kritérií. Použita byla pouze data z předpokládané doby otopného období, tedy od září do května. Dále byla vyřazena data z období, kdy byli uživatelé rodinného domu po dobu delší než tři dny mimo domov. To bylo rozlišeno poklesem vnitřní teploty pod 17 °C alespoň na 24 hodin, z důvodu útlumu vytápění. Dále byla vyřazena data v případech, kdy byla teplota vnitřního odváděného vzduchu vyšší než teplota přiváděného venkovního. Na závěr byla vyřazena data, u kterých byla teplota přiváděného venkovního vzduchu vyšší než 13 °C, a to z důvodu předpokladu zahájení vytápění až při poklesu venkovní teploty pod 13°C. Z důvodu poruchy na zařízení bylo nutné vyřadit data z měsíce listopadu. V tomto měsíci došlo k nedovření obtokové klapky, a tak část odváděného vzduchu procházelo mimo výměník, což výrazně negativně ovlivňovalo vypočtený teplotní faktor. Po vyfiltrování dat byl výsledný průměrný teplotní faktor pro přívodní stranu výměníku  $\Phi_e$  vypočten dle vztahu (11) jako:

$$\Phi_e = 0,9036.$$

Tento údaj byl dále použit jako účinnost zpětného získávání tepla  $\eta_{zst}$ .

### **Tepelné ztráty větráním**

Výpočet průtoku vzduchu v závislosti na procentuálním výkonu jednotky byl znám pro výkon, ve kterém byl systém regulován, tedy 60 %. Z dané hodnoty se úměrně odvodily průtoky i pro ostatní procentuální výkony. Z naměřených a vypočtených údajů byla vypočtena průměrná výměna vzduchu v měřeném období 148,97 m<sup>3</sup>/h. Hustota vzduchu pro průměrnou venkovní teplotu 7,7 °C v otopném období je 1,256 kg/m<sup>3</sup>. Měrná tepelná kapacita vzduchu je 1 010 J/kg.K. Celkový počet denostupňů vyšel 3 413,8. Nejprve byly vypočteny tepelné ztráty větráním bez zpětného získávání tepla dle vztahu (9):

$$Q_{v,n} = \frac{148,97 \cdot 1,256 \cdot 1\,010 \cdot 3\,413,8 \cdot 24 \cdot 1}{3\,600 \cdot 1\,000}$$
$$Q_{v,n} = 4\,300,9 \text{ kWh}$$

Následně byly vypočteny tepelné ztráty větráním se zpětným získáváním tepla:

$$Q_{v,zst} = \frac{148,97 \cdot 1,256 \cdot 1\,010 \cdot 3\,413,8 \cdot 24 \cdot (1 - 0,9036)}{3\,600 \cdot 1\,000}$$
$$Q_{v,zst} = 414,6 \text{ kWh}$$

### **Náklady na pokrytí tepelné ztráty větráním**

Na základě vypočítaných hodnot tepelné ztráty větráním byly vypočteny celkové náklady na pokrytí tepelné ztráty větráním. Průměrná cena za 1 kWh zemního plynu v roce 2019 v České republice byla 1,46 Kč. Pro větrání bez zpětného získávání tepla byly vypočteny náklady na pokrytí tepelné ztráty větráním dle vztahu (12):

$$C_{vyt,n} = 4\,300,9 \cdot 1,46$$
$$C_{vyt,n} = 6\,279,3 \text{ Kč/rok}$$

Obdobně byly vypočteny náklady na pokrytí tepelné ztráty větráním se zpětným získáváním tepla:

$$C_{vyt,zst} = 414,6 \cdot 1,46$$
$$C_{vyt,zst} = 605,3 \text{ Kč/rok}$$

### **Roční finanční bilance**

Pro zjištění roční finanční úspory bylo dosazeno do vztahu (13):

$$C_{rok} = 6\,279,3 - 605,3 - 4\,268$$
$$C_{rok} = 1\,406 \text{ Kč/rok}$$



### **Prostá doba návratnosti**

V závěrečném kroku byla vypočtena prostá doba návratnosti dosazením do vztahu (14). Pro systém na klíč byla prostá doba návratnosti:

$$t_{n,k} = \frac{136\,936}{1\,406}$$

$$t_{n,k} = 97,4 \text{ let.}$$

Pro systém svépomocí byla po dosazení prostá doba návratnost:

$$t_{n,s} = \frac{98\,128}{1\,406}$$

$$t_{n,s} = 69,8 \text{ let.}$$

Pro systém svépomocí s dotací v rámci programu NZÚ byla doba návratnosti:

$$t_{n,s,NZÚ} = \frac{50\,564}{1\,406}$$

$$t_{n,s,NZÚ} = 36 \text{ let.}$$

Životnost rekuperační jednotky se pohybuje mezi 10 a 15 lety. Po porovnání je zřejmé, že ani s nejnižšími náklady na počáteční investici není za daných podmínek investice z ekonomického pohledu považována za efektivní.

## **7.5 Diskuse**

Pro větší přehlednost bude v této kapitole používáno označení objekt A pro rodinný dům v Praze, objekt B pro rodinný dům ve Středních Čechách a objekt C pro rodinný dům v kraji Vysočina.

### **Koncentrace CO<sub>2</sub>**

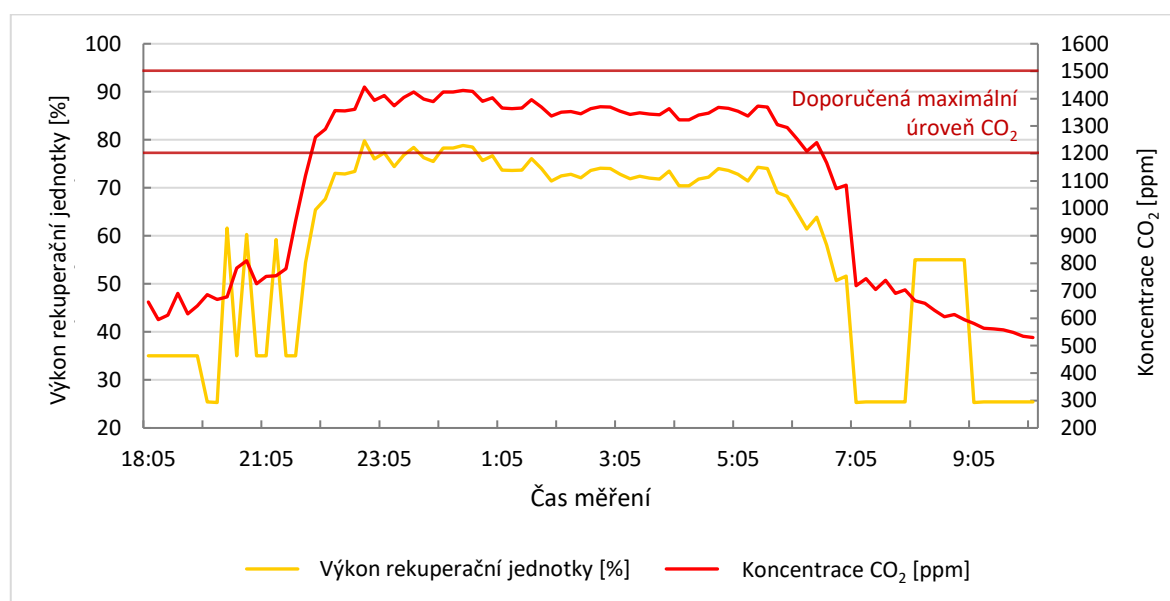
Naměřená data koncentrace CO<sub>2</sub> posoudíme z hlediska splnění podmínek daných Vyhláškou Ministerstva pro místní rozvoj č. 20/2012 Sb. [10], která stanovuje maximální povolenou koncentraci CO<sub>2</sub> ve vnitřním prostředí 1500 ppm.

Výsledky ukazují dodržení podmínky maximální povolené koncentrace CO<sub>2</sub> 1500 ppm v průběhu celého měření u objektu A a C. U měřené objektu B byla maximální povolená úroveň překročena celkem u osmi záznamů, což můžeme považovat za ojedinělé překročení. Způsobeno to mohlo být i nedokonalým nastavením ovládní rekuperační jednotky. Je patrné že hranicí pro navýšení výkonu bylo 1500 ppm, což mělo za následek reakci jednotky až po překročení daného úrovně.

Na jednotlivých grafech je pozorovatelný čas využívání jednotlivých místností. U měřených ložnic (objekt A a B) je zcela patrný nárůst koncentrace CO<sub>2</sub> v průběhu jednotlivých nocí a pokles v průběhu dne, kdy se hodnoty dostávají až k úrovni koncentrace CO<sub>2</sub> v čerstvém vzduchu. U měřeného obývacího pokoje (objekt C) jsou pozorovatelné nárůsty především v pozdním odpoledni, nicméně denní výkyvy jsou významně nižší než v případě ložnic, což je zcela patrné na průměrné denní odchylce, která je řádově nižší. Tuto skutečnost může způsobovat několik faktorů. Především celkový objem místnosti a velký počet koncových prvků větracího systému v místnosti může mít za následek zmírnění výkyvů koncentrace CO<sub>2</sub>. Vliv mohlo hrát i umístění měřicího senzoru.

Z pohledu řízení rekuperační jednotky můžeme porovnat vybraný úsek měření u objektu A a u objektu B. U objektu A bylo použito plynulé řízení dle aktuální koncentrace CO<sub>2</sub> (viz. graf č. 7). U objektu B byl nastaven konstantní výkon jednotky 30 % (viz. graf č. 8). Z grafu č. 7 je zcela patrné přizpůsobení výkonu jednotky dle nastavených parametrů a aktuální koncentrace CO<sub>2</sub>. Je patrné, že v průběhu noci byly výkyvy v hodnotách koncentrace CO<sub>2</sub> velmi malé, což ustálenou kvalitu vnitřního ovzduší.

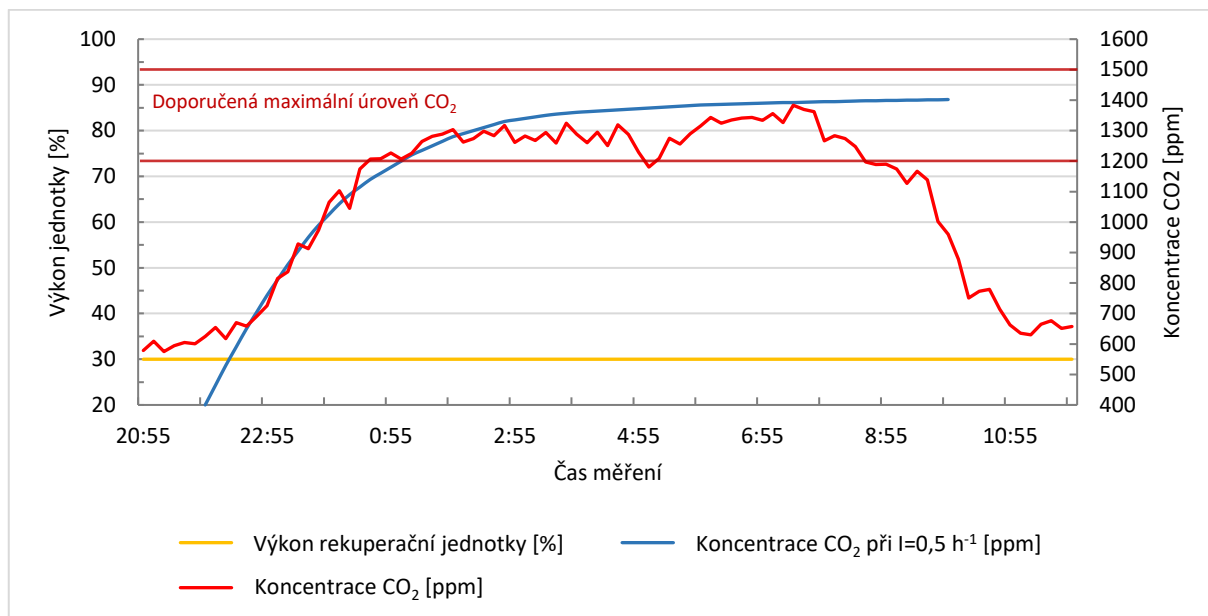
Graf 7: RD Praha – řízení rekuperační jednotky dle aktuální potřeby



V grafu č. 8 je zobrazený průběh koncentrace CO<sub>2</sub> při konstantě nastaveném výkonu. Díky tomu lze daný graf porovnat s křivkou průběhu koncentrace CO<sub>2</sub> dle Zmrhala [2]. Ten udává křivku vývoje koncentrace CO<sub>2</sub> (viz. obr. č. 1) ve větrané ložnici o podlahové ploše 15 m<sup>2</sup> při pobytu dvou osob a při stálé intenzitě větrání  $I = 0,5 \text{ h}^{-1}$ , která byla přiložena do grafu č. 8. Měřená místnost objektu B byla o podlahové ploše 16,9 m<sup>2</sup> a objemu 43,9 m<sup>3</sup>. Při

přítomnosti dvou osob a při 30 % výkonu jednotky činila intenzita větrání, vypočtená dle vztahu (6), přibližně  $I = 0,5 \text{ h}^{-1}$ . Z porovnání obou křivek je zřejmá podobnost vývoje koncentrace  $\text{CO}_2$ .

Graf 8: RD Střední Čechy – konstantní řízení rekuperační jednotky



Zmrhal [2] dále uvádí hodnoty koncentrace  $\text{CO}_2$  pro stejný měřený prostor při nedostatečné intenzitě větrání  $I = 0,1 \text{ h}^{-1}$ . Při porovnání námi naměřené hodnoty v 6:55, která byla 1333,7 ppm a hodnoty odečtené z grafu *Vývoj koncentrace  $\text{CO}_2$  ve větrané ložnici* (viz. obr. č. 1) při  $I = 0,1 \text{ h}^{-1}$ , která byla přibližně 3500 ppm, je zřejmý významný rozdíl mezi hodnotami přibližně 2150 ppm.

Nováková a Kraus [31] ve svém měření sledují vývoj koncentrace  $\text{CO}_2$  v ložnici o podlahové ploše  $14,5 \text{ m}^2$  a objemu  $37 \text{ m}^3$  při několika možných nastaveních oken. Po 8 hodinách spánku dosahovala koncentrace  $\text{CO}_2$  při zavřeném oknu a zavřených dveřích do místnosti 2399 ppm, při oknu nastaveném na mikroventilaci a zavřených dveřích do místnosti 2198 ppm a při oknu vyklopeném a zavřených dveřích do místnosti 887 ppm. Z porovnání s hodnotami z objektu A a B je patrné, že systém řízeného větrání dosahuje významně nižších hodnot koncentrace  $\text{CO}_2$  než okno zavřené, či v režimu mikroventilace a splňuje tak svůj účel. [31]

### Relativní vlhkost

Naměřená data relativní vlhkosti budou posouzena vzhledem k doporučené horní a dolní hranici úrovně relativní vlhkosti vzduchu ve vnitřním prostředí, tedy hranicí 30 % a 60 %.

Průměrná hodnota relativní vlhkosti za celé měření splnila danou podmínku u všech tří měřených objektů, kdy pro objekt A byla hodnota 41,1 %, pro objekt B 50,6 % a pro objekt C 38,4 %.

Překročení hranice 60 % bylo zaznamenáno u všech tří domů, avšak nejdelší nepřetržitě překročení trvalo jednu hodinu. Toto překročení se vyskytlo jednou u objektu A a jednou u objektu B. Důvodem tohoto překročení by mohlo být například použití koupelny více členy domácnosti v rychlém sledu po sobě. Všechna zbylá překročení doporučené úrovně trvala kratší dobu než 60 minut. Z toho důvodu lze označit všechna zaznamenaná překročení za krátkodobá bez dlouhodobých negativních účinků.

U všech měřených objektů je viditelný nárůst výkonu jednotky při překročení nastavené úrovně relativní vlhkosti, což má za následek rychlejší snížení úrovně relativní vlhkosti v dané místnosti.

### **Ekonomické zhodnocení**

Z vypočtených hodnot je zřejmé, že investice do systému řízeného větrání se zpětným získáváním tepla není z ekonomického pohledu efektivní. Ani při snížených nákladech a využití dotací v rámci programu Nová zelená úsporám se prostá doba návratnosti 36 let nepřibližuje životnosti rekuperační jednotky, která je udávána přibližně 10 až 15 let.

Snížit délku prosté doby návratnosti je možné několika způsoby. Investiční náklady by bylo možné snížit vybráním levnější větrací jednotky, levnějších vzduchovodů, či snížením počtu senzorů koncentrace CO<sub>2</sub> a relativní vlhkosti. Nižších nákladů by mohlo být docíleno případnou změnou dodavatele. Roční náklady by se mohly snížit výběrem větrací jednotky s nižším příkonem ventilátorů, což by kladně ovlivnilo náklady na elektrickou energii. Velkou roli hrají i ceny energií, kdy rostoucí cena elektrické energie by znamenala prodloužení prosté doby návratnosti. Naopak rostoucí cena zemního plynu by zvyšovala roční úsporu a tím zkracovala prostou dobu návratnosti. Tepelné ztráty větráním jsou výrazně ovlivněny i délkou otopného období, a především pak počtem denostupňů. V tomto případě bylo otopné období odečteno pro Prahu, kde je otopné období jedno z nejkratších v celé České republice.

## 8 Závěr a doporučení

Vzhledem k rostoucím nárokům na neprůvzdušnost obálky nově stavěných domů a celkovému posunu výstavby směrem k pasivnímu standardu je téměř jisté, že systémy řízeného větrání budou stále více využívanou možností. Již v této době není možné některé typy domů bez systému řízeného větrání realizovat.

Cílem této diplomové práce byl rozbor a zhodnocení vlivu systémů řízeného větrání se zpětným získáváním tepla na vnitřní prostředí rodinných domů. Kromě sledování parametrů vnitřního prostředí bylo cílem i ekonomické zhodnocení, které je významným parametrem při rozmýšlení dané investice.

Na základě známých poznatků v oblasti problematiky vnitřního prostředí a větrání obytných budov byla provedena měření u tří rodinných domů se systémem řízeného větrání. Měření probíhalo vzdáleně za využití funkce vzdáleného přístupu k řízení rekuperační jednotky. Ve třech týdenních měřeních byly, ve vybraných místnostech každého z měřených domů, sledovány vybrané parametry vnitřního prostředí – koncentrace CO<sub>2</sub> a relativní vlhkost. Měření probíhala za běžného provozu všech rodinných domů bez jakýchkoliv vnějších zásahů.

Z důvodu co možná nejpřesnějšímu ekonomickému zhodnocení bylo provedeno další měření u jednoho z měřených domů v délce jednoho roku, při kterém byl vzdáleně sledován provoz rekuperační jednotky z hlediska spotřeby elektrické energie, průměrné výměny vzduchu a účinnosti zpětného získávání tepla.

Výsledky měření vybraných parametrů vnitřního prostředí ukázaly pozitivní vliv větracích systémů na posuzované parametry vnitřního prostředí. Koncentrace CO<sub>2</sub> byla, až na ojedinělou výjimku, u všech tří rodinných domů v průběhu celého měření udržována pod doporučenou maximální úroveň 1500 ppm. Ojedinělé překročení u jednoho z domů poukázalo na fakt, že kromě vhodného návrhu celého systému hraje důležitou roli i vhodné nastavení a řízení rekuperační jednotky samotným uživatelem.

Obdobně pozitivní vliv byl pozorovatelný i u měření relativní vlhkosti ve vybraných koupelnách, kde byly průměrné týdenní hodnoty relativní vlhkosti v rozmezí doporučené úrovně 30 až 60 %. Veškerá překročení, plynoucí z používání koupelny, bylo možné hodnotit jako krátkodobé s délkou do 60 minut bez dlouhodobých negativních účinků na vnitřní ovzduší a stavební konstrukce.

Na základě ročního měření bylo provedeno ekonomické zhodnocení, které ukázalo ekonomickou neefektivnost dané investice. Ačkoliv byla roční úspora tepelné energie potřebné pro krytí tepelných ztrát větráním významná, roční provozní náklady tuto úsporu výrazně snížily. I při získání finanční podpory v rámci programu Nová zelená úsporám byla vypočtena prostá doba návratnosti na 36 let. Při porovnání s předpokládanou životností rekuperační jednotky, mezi 10 a 15 lety, je patrná ekonomická nevýhodnost. Na výslednou délku prosté doby návratnosti má však vliv velké množství proměnných, a tak lze předpokládat, že za specifických podmínek může klesnout až k 10 rokům, čímž by se stala ekonomicky výhodnou.

Celá investice by však neměla být posuzována pouze dle ekonomické efektivity, ale měli bychom vzít v potaz i veškeré výhody plynoucí z provozu řízeného větrání. Zejména pak vliv na kvalitu vnitřního prostředí, které má přímý vliv na lidské zdraví. Z tohoto pohledu se jedná bez pochyby o výhodnou investici do vlastního zdraví všech uživatelů, které se jen obtížně vyčísluje penězi.

V budoucnu bude výstavba rodinných domů stále častěji směřována k pasivnímu standardu, s čímž je spojená i nutnost použití systému řízeného větrání. Je proto nutné, aby i vývoj těchto systémů šel kupředu. Jako možný směr, kde je stále velký prostor pro posun se jeví integrace do inteligentního řízení domu a kompletní automatizace celého systému.

## 9 Seznam použitých zdrojů

- [1] LAJČÍKOVÁ, A. Vnitřní prostředí a zdraví. *Vytápění, větrání, instalace*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2012, **21**(5), 234–237. ISSN 1210-1389.
- [2] ZMRHAL, Vladimír. *Větrání rodinných a bytových domů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2014. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-4573-2.
- [3] POČINKOVÁ, Marcela, Danuše ČUPROVÁ a Olga RUBINOVÁ. *Úsporný dům*. 1. vyd. Brno: CPress, 2012. Stavíme. ISBN 978-80-264-0014-1.
- [4] MORÁVEK, Petr. Mikroklima pasivních domů. *TZB-info* [online]. Praha, 2001 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitрни-prostredi/8144-mikroklima-pasivnich-domu>
- [5] CO2 Records. *Earth's CO2 Home Page* [online]. Victoria, 2020 [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://www.co2.earth/co2-records>
- [6] ČSN EN13779: 2010. *Větrání nebytových budov - Základní požadavky na větrací a klimatizační zařízení*. UNMZ, 2010.
- [7] DUFKA, Jaroslav. *Větrání a klimatizace domů a bytů*. 2., přeprac. vyd. Praha: Grada, 2005. Profi & hobby. ISBN 80-247-1144-3.
- [8] RUBINOVÁ, O. a A. RUBINA. Vnitřní prostředí budov a tepelná pohoda člověka. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2001 [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitрни-prostredi/2650-vnitрни-prostredi-budov-a-tepelna-pohoda-cloveka>
- [9] DRKAL, František a Vladimír ZMRHAL. *Větrání*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN isbn978-80-01-05181-8.
- [10] *Vyhláška č. 20/2012 Sb., kterou se mění vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby*. In: . b.r.
- [11] ČSN EN 15665/Z1: 2009. *Větrání budov - Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*. In: . ÚNMZ, 2011.

- [12] KORADO, a.s., Větrání pasivních budov. *TZB-info* [online]. 2001 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/18301-vetrani-pasivnich-budov>
- [13] Pokojová rekuperace s dálkovým ovládním a účinností až 90 %. *VENTILATORY.cz* [online]. 2011 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://www.ventilatory.cz/pokojova-rekuperacni-jednotka-dalap-zephir-lux-s-dalkovym-ovladanim-a-ucinnosti-az-90-x11553>
- [14] *ThermWet* [online]. Praha Uhříněves: ThermWet s.r.o., © 2015–2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.thermwet.cz/>
- [15] Rekuperace Venus Comfort 150 AC s regulací. *E-vetrani.cz* [online]. Pardubice: Multi-VAC spol. s r.o., 2020 [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: <https://www.e-vetrani.cz/rekuperace-venus-comfort-150-s-ac-motory-bez-predehrevu-s-regulaci>
- [16] ŠTORC TZB s.r.o. - Fotogalerie. *Reality Benešov* [online]. České Budějovice, 2020 [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://www.reality-benesov.cz/firmy/storc/fotogalerie>
- [17] NEUBERGER, Pavel, Daniel ADAMOVSKEÝ a Radomír ADAMOVSKEÝ. *Termomechanika*. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978–80–213–1634–8.
- [18] ZIKÁN, Zdeněk. Zpětné získávání tepla a větrání objektů. *TZB-info* [online]. Praha, 2001 [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/6325-zpetne-ziskavani-tepla-a-vetrani-objektu>
- [19] DESKOVÉ VÝMĚNÍKY TEPLA WOLF. *WOLF* [online]. 2020 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://czech.wolf.eu/profi-portal-vzduchotechnika/technologie/rekuperace-tepla/deskove-vymeniky-tepla/>
- [20] ŠUBRT, Roman. Vliv větracího systému s entalpickým výměníkem na interiérové mikroklima. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2001 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/14333-vliv-vetraciho-systemu-s-entalpickym-vymenikem-na-interierove-mikroklima>
- [21] Aplikace - Rodinné domy. *WAFE* [online]. Praha: WAFE, 2020 [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://www.wafe.eu/aplikacni-reseni/rodinne-domy>



- [22] POSTUPA, Martin. Moderní rotační výměníky tepla. *TZB-info* [online]. Praha, 2001 [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/15795-moderni-rotacni-vymeniky-tepla>
- [23] Jaké potrubí pro rekuperační systém?. *Luftuj.cz* [online]. Slatiňany: Luftuj s.r.o., 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.luftuj.cz/clanky/jake-potrub-pro-rekuperacni-system/>
- [24] Čtyřhranné plastové potrubí 150x75 mm. *E-ventilator* [online]. Hradec Králové: UNITRADE HK s.r.o., 2019 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.e-ventilator.cz/427-ctyrhranne-plastove-potrub-150x75-mm-delka-0-5-metru.html>
- [25] Filtry pro rekuperaci. *Luftuj.cz* [online]. Slatiňany: Luftuj.cz, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.luftuj.cz/clanky/filtry-pro-rekuperaci/>
- [26] Rozdělení filtrů do tříd, vlastnosti filtrů a typické příklady použití. *TROX KS Filter a.s.* [online]. Příbram: TROX KS Filter a.s., © 2002-2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.ksklimaservice.cz/cz/rozdeleni-filtru-do-trid-vlastnosti-filtru-a-typicke-priklady-pouziti>
- [27] Technický list senzoru oxidu uhličitého TW-CO2-24. *ThermWet* [online katalogový list]. Praha, © 2015–2020 [cit. 2020-02-16]. Dostupné z: [https://www.thermwet.cz/wp-content/uploads/2019/01/ThermWet\\_Technicky-list-senzoru-oxidu-uhliciteho\\_TW-CO2-24.pdf](https://www.thermwet.cz/wp-content/uploads/2019/01/ThermWet_Technicky-list-senzoru-oxidu-uhliciteho_TW-CO2-24.pdf)
- [28] Technický list senzoru vlhkosti TW-HYG-24. *ThermWet* [online katalogový list]. Praha, © 2015–2020 [cit. 2020-02-16]. Dostupné z: [https://www.thermwet.cz/wp-content/uploads/2019/01/ThermWet\\_Technicky-list-senzoru-vlhkosti\\_TW-HYG-24.pdf](https://www.thermwet.cz/wp-content/uploads/2019/01/ThermWet_Technicky-list-senzoru-vlhkosti_TW-HYG-24.pdf)
- [29] GERGELA, Pavel. Rekuperace a prostá doba návratnosti, vyplatí se?. *TZB-energie CZ* [online]. Ostrava, 2016 [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: <https://www.tzb-energie.cz/post/2016/06/26/rekuperace-vzduchu-a-prosta-doba-navratnosti-vyplati-se>
- [30] REINBERK, Z. a L. TINTĚRA. Výpočet denostupňů. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2001 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/103-vypocet-denostupnu>

[31] KRAUS, M a P NOVÁKOVÁ. Assessment of the Indoor Environment for Education. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019, **290**. DOI: 10.1088/1755-1315/290/1/012144. ISSN 1755-1315. Dostupné také z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/290/1/012144>

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Vývoj koncentrace CO <sub>2</sub> ve větrané ložnici během noci .....	19
Obrázek 2: Lokální nástěnná rekuperační jednotka Korasmart 1400 .....	29
Obrázek 3: Lokální jednotka Dalap ZEPHIR LUX .....	30
Obrázek 4: Schéma zapojení u centrálního rovnotlakého větrání .....	31
Obrázek 5: Podstropní jednotka Venus Comfort 150 AC od společnosti 2VV .....	32
Obrázek 6: Nástěnná jednotka Flair 325 od firmy Brink.....	32
Obrázek 7: Protiproudý deskový výměník tepla.....	33
Obrázek 8: Princip klapkového systému firmy Wafe.....	35
Obrázek 9: Princip rotačního výměníku .....	36
Obrázek 10: Schéma páteřního větvení .....	37
Obrázek 11: Schéma paralelního větvení .....	38
Obrázek 12: Senzor TW-CO2-24 od firmy ThermWet .....	41
Obrázek 13: Senzor TW-HYG-24 od firmy ThermWet.....	42
Obrázek 14: Kalkulační nástroj Výpočet denostupňů .....	45
Obrázek 15: Rekuperační jednotka Ventbox 300 .....	47
Obrázek 16: Plastová hadice ED FLEX 90 a průchozí stropní box.....	49
Obrázek 17: RD Praha – půdorys ložnice.....	50
Obrázek 18: RD Praha – půdorys koupelny .....	50
Obrázek 19: RD Středočeský kraj – půdorys ložnice .....	51
Obrázek 20: RD Středočeský kraj – půdorys koupelny.....	52
Obrázek 21: RD Vysočina – půdorys obývací pokoj + kuchyňský kout.....	53
Obrázek 22: RD Vysočina – půdorys koupelny .....	54

## Seznam tabulek

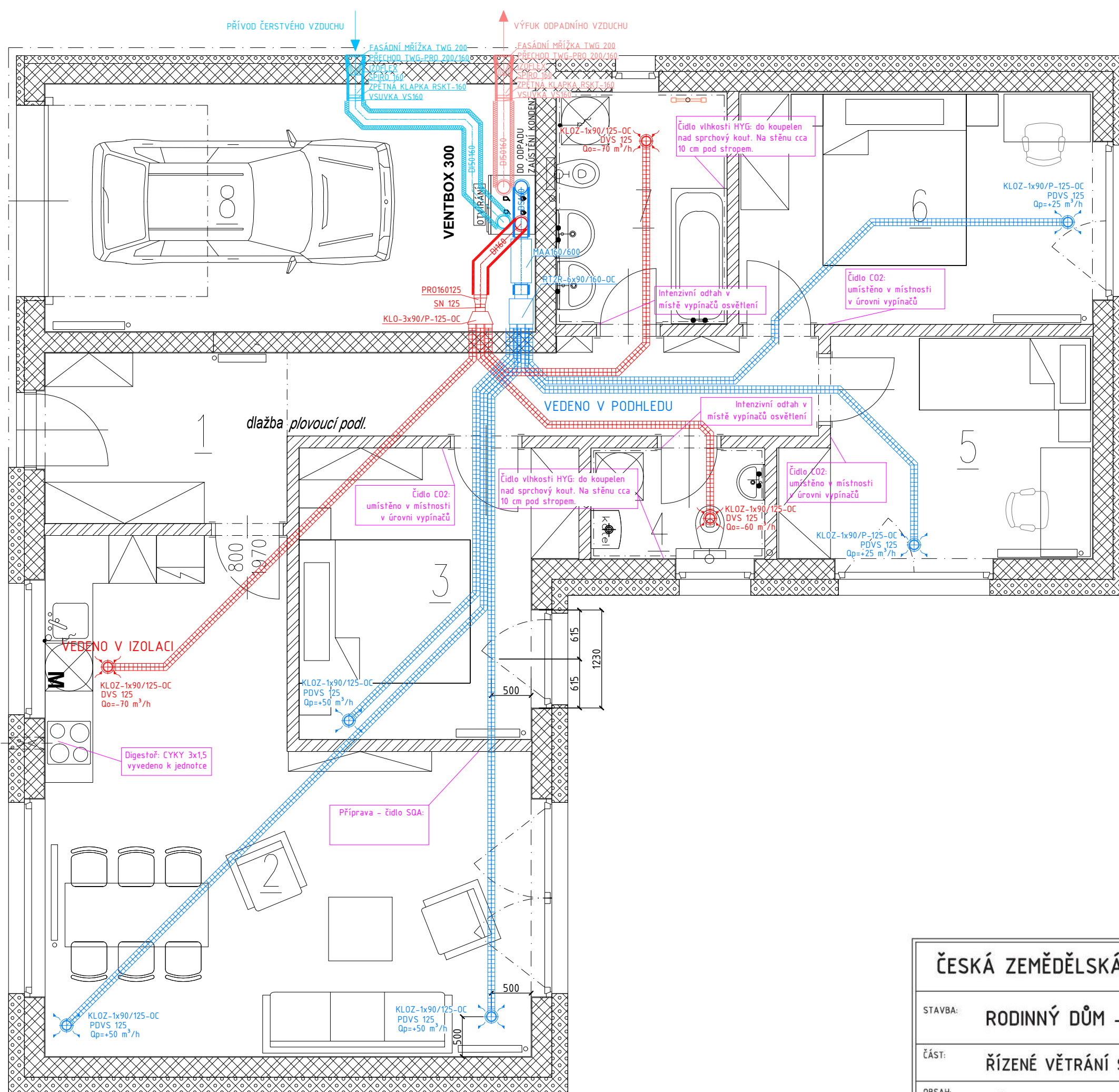
Tabulka 1: Doporučené hodnoty pro parametry tepelně vlhkostního mikroklimatu .....	14
Tabulka 2: Účinky CO <sub>2</sub> na lidský organismus .....	19
Tabulka 3: Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15665/Z1 .....	28
Tabulka 4: Třídy filtrů, vlastnosti filtrů a příklady použití .....	39
Tabulka 5: RD Praha – denní extrém koncentrace CO <sub>2</sub> .....	55
Tabulka 6: RD Praha – denní extrém relativní vlhkosti .....	56
Tabulka 7: RD Praha – délka překročení maximální doporučené úrovně relativní vlhkosti .....	56
Tabulka 8: RD Střední Čechy – denní extrém koncentrace CO <sub>2</sub> .....	57
Tabulka 9: RD Střední Čechy – denní extrém relativní vlhkosti.....	58
Tabulka 10: RD Střední Čechy – délka překročení maximální doporučené úrovně relativní vlhkosti.....	58
Tabulka 11: RD Vysočina – denní extrém koncentrace CO <sub>2</sub> .....	59
Tabulka 12: RD Vysočina – denní extrém relativní vlhkosti .....	59
Tabulka 13: RD Vysočina – délka překročení maximální doporučené úrovně relativní vlhkosti.....	60
Tabulka 14: Roční spotřeba elektrické energie rekuperační jednotky Ventbox 300.....	62
Tabulka 15: Tabulka denostupňů .....	63

## Seznam grafů

Graf 1: RD Praha – závislost koncentrace CO <sub>2</sub> na času .....	55
Graf 2: RD Praha – závislost relativní vlhkosti na času .....	56
Graf 3: RD Střední Čechy – závislost koncentrace CO <sub>2</sub> na času.....	57
Graf 4: RD Střední Čechy – závislost relativní vlhkosti na času.....	58
Graf 5: RD Vysočina – závislost koncentrace CO <sub>2</sub> na času.....	59
Graf 6: RD Vysočina – závislost relativní vlhkosti na času .....	60
Graf 7: RD Praha – řízení rekuperační jednotky dle aktuální potřeby .....	66
Graf 8: RD Střední Čechy – konstantní řízení rekuperační jednotky .....	67

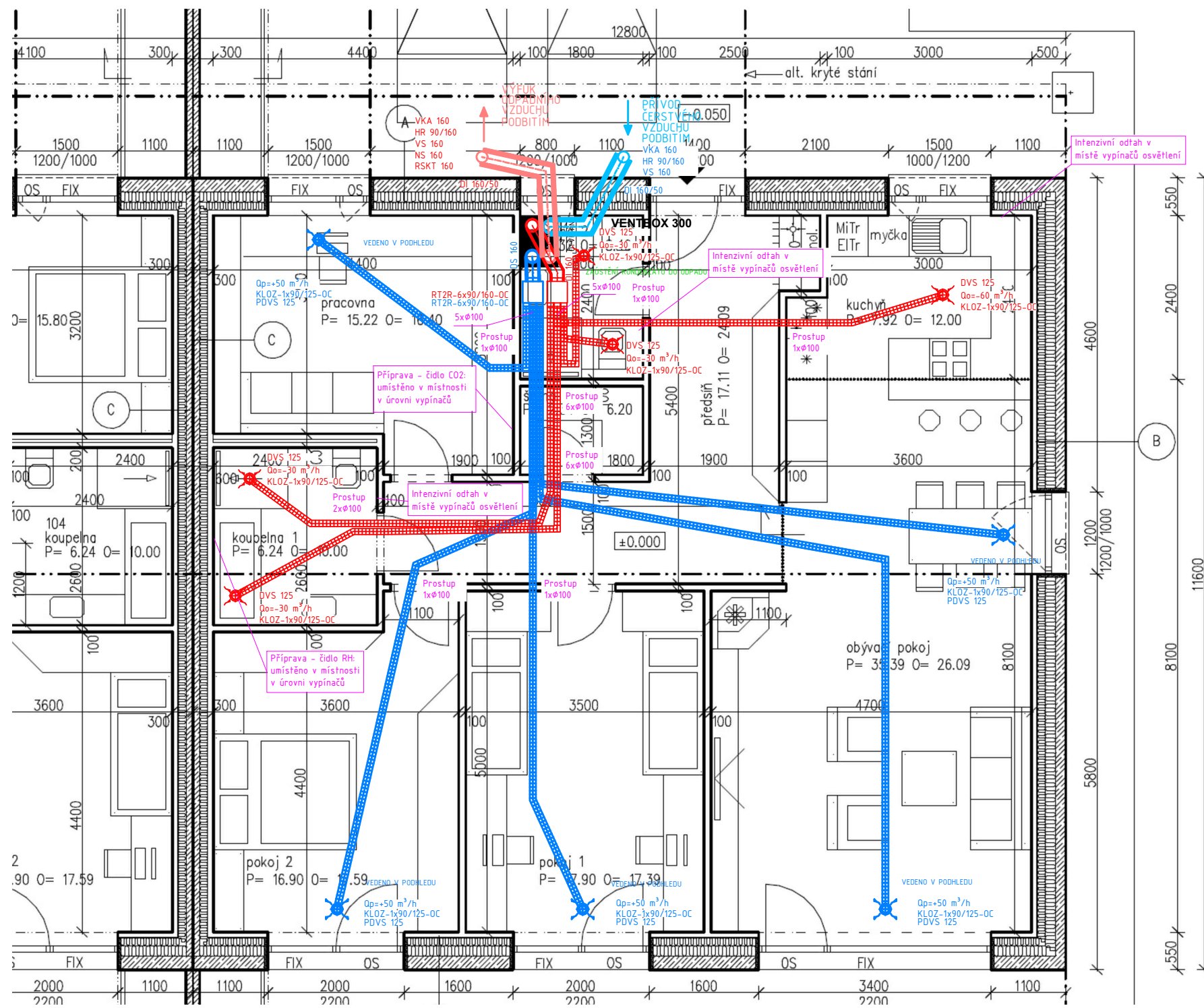
## 10 Přílohy

Příloha 1 – Systém řízeného větrání – RD Praha.....	II
Příloha 2 - Systém řízeného větrání – RD Středočeský kraj.....	III
Příloha 3 - Systém řízeného větrání – RD Vysočina .....	III



Ozn. M.	Funkce místnosti	Plocha (m <sup>2</sup> )
1	CHODBA	14,50
2	OBÝVACÍ POKOJ + KK	31,60
3	POKOJ	11,00
4	WC	2,40
5	POKOJ	10,10
6	POKOJ	13,00
7	KOUPELNA+WC	6,20
8	GARÁŽ	18,80

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE - TECHNICKÁ FAKULTA			
STAVBA:	RODINNÝ DŮM - PRAHA		
ČÁST:	ŘÍZENÉ VĚTRÁNÍ S REKUPERACÍ	MĚŘÍTKO:	1:50
		DATUM:	03/2020
OBSAH:	PŮDORYS ROZVODŮ VZT 1.NP	ČÍSLO PŘÍLOHY:	I.

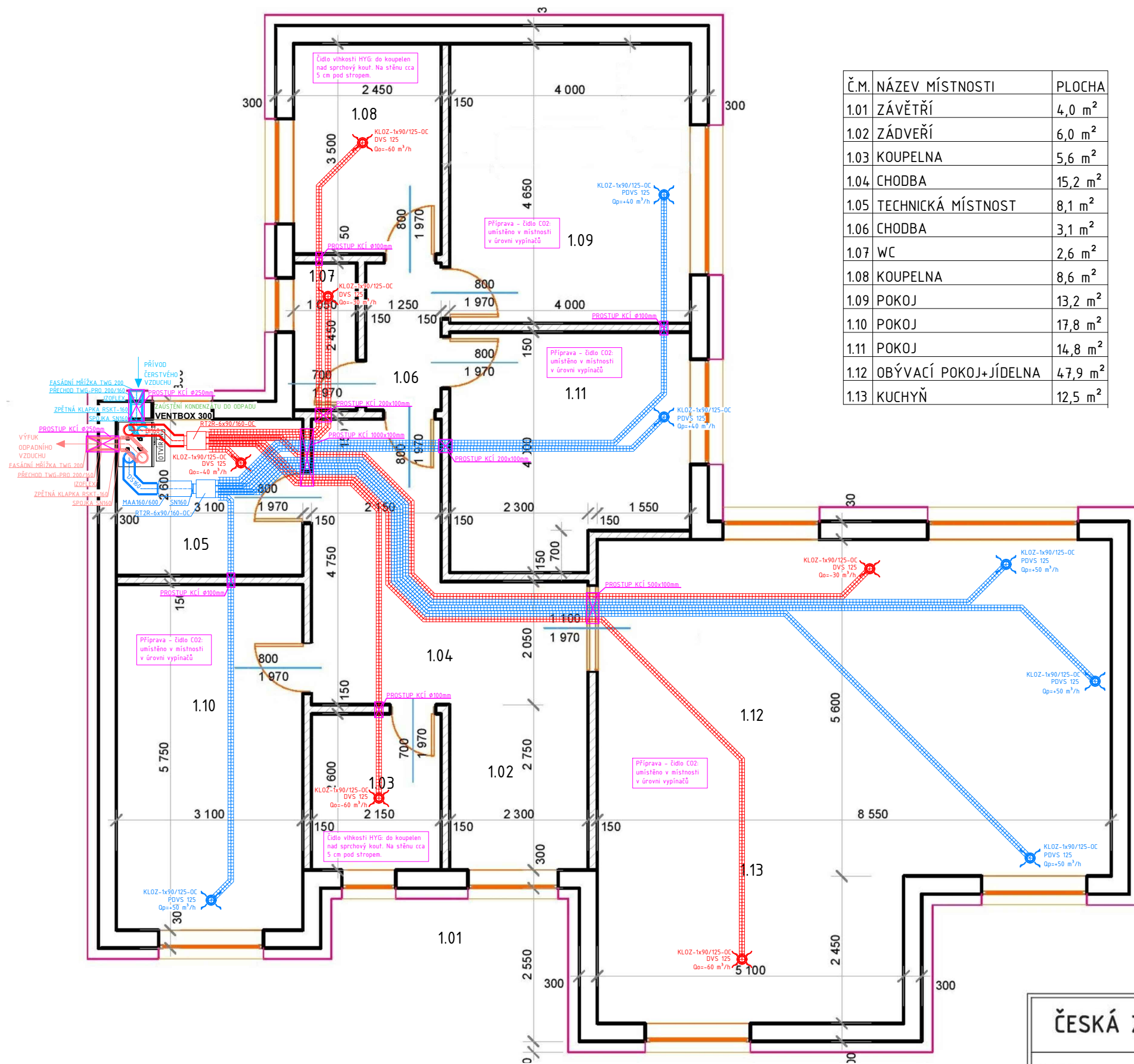


### LEGENDA MÍSTNOSTÍ

Č.M.	NÁZEV MÍSTNOSTI	PLOCHA PODLAHY [m <sup>2</sup> ]	POVRCH PODLAHY
101	pracovna	10.20	Marmoleum Home 2.5 mm
102	předsíň	12.17	Ker. dlažba 15 mm
103	pokoj 1	14.08	Marmoleum Home 2.5 mm
104	koupelna	6.24	Ker. dlažba 15 mm
105	pokoj 2	16.90	Marmoleum Home 2.5 mm
106	obývací pokoj	31.34	Marmoleum Home 2.5 mm
107	kuchyně	8.52	Marmoleum Home 2.5 mm
PLOCHA CELKEM:		82.55	

<b>ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE - TECHNICKÁ FAKULTA</b>		
STAVBA:	<b>ŘADOVÝ RODINNÝ DŮM - STŘEDOČESKÝ KRAJ</b>	
ČÁST:	<b>ŘÍZENÉ VĚTRÁNÍ S REKUPERAČÍ</b>	MĚŘÍTKO: 1:50
		DATUM: 03/2020
OBSAH:	<b>PŮDORYS ROZVODŮ VZT 1.NP</b>	ČÍSLO PŘÍLOHY: II.





Č.M.	NÁZEV MÍSTNOSTI	PLOCHA
1.01	ZÁVĚTRÍ	4,0 m <sup>2</sup>
1.02	ZÁDVEŘÍ	6,0 m <sup>2</sup>
1.03	KOUPELNA	5,6 m <sup>2</sup>
1.04	CHODBA	15,2 m <sup>2</sup>
1.05	TECHNICKÁ MÍSTNOST	8,1 m <sup>2</sup>
1.06	CHODBA	3,1 m <sup>2</sup>
1.07	WC	2,6 m <sup>2</sup>
1.08	KOUPELNA	8,6 m <sup>2</sup>
1.09	POKOJ	13,2 m <sup>2</sup>
1.10	POKOJ	17,8 m <sup>2</sup>
1.11	POKOJ	14,8 m <sup>2</sup>
1.12	OBÝVACÍ POKOJ+JÍDELNA	47,9 m <sup>2</sup>
1.13	KUCHYŇ	12,5 m <sup>2</sup>

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE - TECHNICKÁ FAKULTA

STAVBA: RODINNÝ DŮM - KRAJ VYSOČINA

ČÁST: ŘÍZENÉ VĚTRÁNÍ S REKUPERAČÍ

OBSAH: PŮDORYS ROZVODŮ VZT 1.NP

MĚŘÍTKO: 1:75  
DATUM: 03/2020

ČÍSLO PŘÍLOHY: III.