

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Návrh větracího systému se zpětným získáváním tepla

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Dominik Pechar

Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Dominik Pechar

Technologická zařízení staveb

Název práce

Návrh větracího systému se zpětným získáváním tepla

Název anglicky

Design of ventilation system with heat recovery

Cíle práce

- návrh systém nucené výměny interiérového vzduchu rodinného domu
- návrh systému zpětného získávání tepla
- stanovení ekonomické efektivity systému

Metodika

1. Struktura práce by se co nejvíce měla přiblížit schématu:

A. Úvod

B. Materiál a metody

C. Výsledky

D. Diskuse

E. Závěr

V práci lze slučovat diskusi a závěr.

2. Sestavení literární rešerše. Návrh větracího systému včetně zařízení pro zpětné získávání tepla z větracího vzduchu. Vyhodnocení předpokládané ekonomické efektivity provozu zařízení. Diskuse k jednotlivým konstrukčním variantám.

3. Práci je vhodné doplnit fotografiemi, schémata, technickými výkresy, grafy a tabulkami. Jednotlivé kapitoly a podkapitoly práce, rovnice, tabulky a obrázky je nutno číselně označovat a na toto značení se v textu odkazovat. Nedílnou součástí práce je i obsah, abstrakt, seznam použitých zkratk a symbolů, obrázků, tabulek a literatury.

Práce může být doplněna přílohami.

4. Při vypracování diplomové práce je nutno dbát na respektování citačních pravidel dle ČSN ISO 690:2011.

5. Vedoucího práce je nutno čtvrtletně seznamovat s postupem zpracování zadaného tématu.

Doporučený rozsah práce

45 včetně příloh

Klíčová slova

větrání, rekuperace, tepelné ztráty

Doporučené zdroje informací

HEMZAL, K. – CHYSKÝ, J. *Větrání a klimatizace*. Brno: Bolit-B press, 1993. ISBN 80-901574-0-8.

KREIDER, J., F. *Handbook of Heating, Ventilation, and Air Conditioning*. Boca Raton: CRC Press, 2000, ISBN 978-1-4200-3646-6

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno dne 9. 2. 2018

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 9. 3. 2018

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 25. 03. 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Návrh větracího systému se zpětným získáváním tepla vypracoval samostatně a použil jen 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 uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V dne Podpis autora

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Ing. Pavlu Neubergerovi, Ph.D., za odborné vedení, užitečné rady a cenné připomínky. Dále bych také poděkoval zaměstnancům firmy ThemWet Ing. Janu Grendelovi a Ing. Janu Kropáčkovi za poskytnutí odborných informací a potřebných údajů.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem systému řízené výměny vzduchu se zpětným získáváním tepelné energie. V úvodní části se práce věnuje problematice vnitřního prostředí a jsou zde také popsány způsoby výměny vzduchu v obytných objektech. V praktické části je navrženo řešení řízeného větrání pro konkrétní rodinný dům. Navržený systém je následně ekonomicky zhodnocen.

Klíčová slova: větrání, rekuperace, tepelné ztráty

Abstract

This thesis is about proposing a system of controlled exchange of air with reversed gain of heat energy. In the primary part of work, the thesis focuses on the concept of the internal environment and there are the details of the change of air in liveable areas. In the practical part of this dissertation there is a recommended solution of controlled ventilation for specific family house. The proposed system is subsequently financially calculated.

Keywords: ventilation, recuperation, heat loss

Obsah

1 Úvod.....	12
2 Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí.....	13
2.1 Normativní požadavky	13
2.1.1 Zákony	13
2.1.2 Nařízení vlády a vyhlášky.....	14
2.1.3 Normy	14
2.2 Uživatelské požadavky.....	15
2.2.1 Teplota a vlhkost.....	15
2.2.2 Plyny	18
2.2.3 Mikroby	22
2.3 Ekonomické požadavky	24
3 Způsoby větrání.....	25
3.1 Přirozené větrání	25
3.1.1 Větrání netěsnostmi	25
3.1.2 Větrání okny	25
3.2 Nucené větrání	27
3.2.1 Lokální rekuperace	27
3.2.2 Centrální rekuperace	28
3.3 Koncepce nuceného větrání	28
3.3.1 Přetlakové větrání	28
3.3.2 Podtlakové větrání	28
3.3.3 Rovnotlaké větrání.....	29
4 Řešení systému větrání s rekuperací pro rodinné domy	29
4.1 Typy potrubí pro rozvod vzduchu.....	30
4.1.1 Tepelně izolované hliníkové flexi hadice	30
4.1.2 Plastové potrubí ED Flex.....	30
4.1.3 Spiro potrubí	31
4.1.4 Ploché plechové potrubí.....	32
4.2 Příklad návrhu řízeného větrání	32
4.2.1 Množství větracího vzduchu.....	35
4.3 Rekuperační výměníky.....	36
4.3.1 Rekuperační výměníky přímé.....	36
4.3.2 Rekuperační výměníky nepřímé	37
5 Cíl práce	38
6 Materiál a metody	39
6.1 Teorie návrhu	39

6.1.1	Návrh potřebného objemu výměny vzduchu	39
6.1.2	Výběr jednotky	39
6.1.3	Umístění jednotky	39
6.1.4	Volba rozvodů vzduchu	40
6.2	Teorie výpočtů	40
6.2.1	Počáteční investice a roční náklady na provoz systému	40
6.2.2	Výpočet tepelných ztrát	41
6.2.3	Náklady na vytápění tepelné ztráty větráním	42
6.2.4	Doba návratnosti	42
6.3	Měření	43
6.4	Popis vybraného objektu	44
7	Návrh řízeného větrání	46
7.1	Návrh objemu přiváděného vzduchu do obytných místností	46
7.2	Návrh objemu odváděného vzduchu	46
7.3	Výběr rekuperační jednotky	47
7.3.1	Konstrukce jednotky	47
7.3.2	Výměník	47
7.3.3	Ventilátory	48
7.3.4	Protimrazová ochrana	48
7.3.5	Letní obtok výměníku (by-pass)	48
7.3.6	Filtrace	49
7.3.7	Webové rozhraní	49
7.4	Návrh umístění jednotky	50
7.5	Návrh rozvodů vedení vzduchu	50
7.5.1	Rozvody vzduchu pro exteriérový přívod a odtah	50
7.5.2	Exteriérové propojení	51
7.5.3	Rozvody mezi řídicí jednotkou a rozvodnými boxy	52
7.5.4	Interiérové rozvody	53
7.6	Navržení regulačního příslušenství	55
8	Výsledky	56
8.1	Počáteční náklady	56
8.2	Servisní náklady	56
8.3	Náklady na spotřebu elektrické energie	56
8.4	Výpočet a porovnání tepelných ztrát	58
8.4.1	Průměrná denní výměna vzduchu	58
8.4.2	Denostupně	58
8.4.3	Výpočet tepelných ztrát větráním	58
8.4.4	Náklady způsobené tepelnými ztrátami	58
8.5	Výpočet doby návratnosti	59
8.6	Výsledky měření	59

9 Závěr a diskuze.....	62
10 Seznam použité literatury.....	64
11 Přílohy	I

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Znázornění koncentrace výskytu radonu na území České republiky.....	21
Obrázek 2 - Radonový štítek	22
Obrázek 3 - Lokální rekuperační jednotka	27
Obrázek 4 - Tepelně izolovaná hliníková flexi hadice	30
Obrázek 5 - Plastové potrubí ED Flex	31
Obrázek 6 - Spiro potrubí	32
Obrázek 7 - Ploché plechové potrubí.....	32
Obrázek 8 - Znázornění pohybu vzduchu v obytném prostoru	34
Obrázek 9 - Schéma rozdělení rekuperačních výměníků	36
Obrázek 10 - Dataloger ALMEO A600-CO2.....	43
Obrázek 11 - Vzorový dům developerského projektu v Třeboradicích.....	44
Obrázek 12 - Půdorys vybraného rodinného domu	45
Obrázek 13 - VENTBOX 300	47
Obrázek 14 - Obtok výměníku.....	49
Obrázek 15 - Znázornění požadovaných minimálních vzdáleností při instalaci jednotky	50
Obrázek 16 - Detail propojení na exteriér	52
Obrázek 17 - Rozvodný box s šesti výstupy.....	52
Obrázek 18 - Detail vedení rozvodů	54
Obrázek 19 - Stropní box.....	54
Obrázek 20 - Talířový distribuční element	55

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Doporučené základní hodnoty pro vnitřní prostředí obytných prostor	16
Tabulka 2 - Produkce vlhkosti v domácnosti	18
Tabulka 3 - Vliv oxidu uhličitého na lidské zdraví při různých koncentracích.....	19
Tabulka 4 – Charakteristika filtračních tříd	23
Tabulka 5 - Požadavky na větrání objektu	35
Tabulka 6 - Navržený objemový tok přiváděného vzduchu do jednotlivých místností	46
Tabulka 7 - Navržený objemový tok odsávaného vzduchu z jednotlivých místností	46
Tabulka 8 - Příkony jednotky při rozdílných výkonech	56
Tabulka 9 – Počty provozních hodin jednotky v jednotlivých dnech v roce.....	57

1 Úvod

Ve vnitřním prostředí stráví člověk až 90 % svého života. Délka stráveného času v interiérech se liší podle věku, přičemž každý člověk stráví přibližně třetinu času odpočinkem a spánkem. Kvalita vnitřního prostředí obývaných budov je ovlivňována vlastnostmi budovy s jejím technickým vybavením, ale i samotným člověkem a jeho činností. Větrání významně ovlivňuje kvalitu vnitřního prostředí a tím i lidské zdraví. Kvalita vnitřního prostředí má vliv až na 50 % všech nemocí.

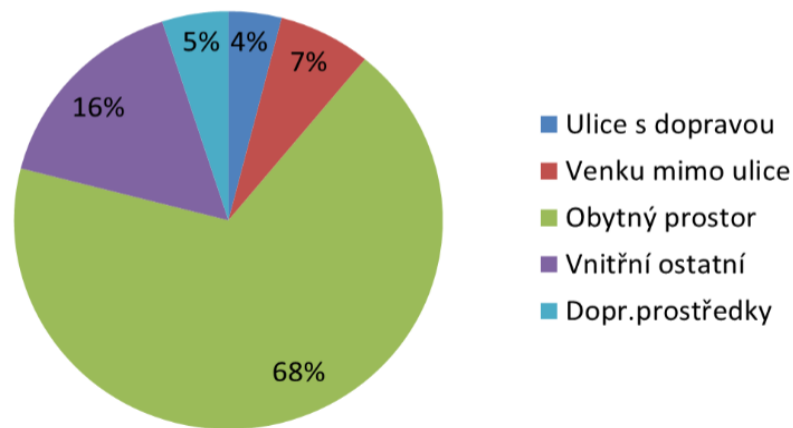
Problém s kvalitou vnitřního prostředí mají často dokonale utěsněné novostavby, které nejsou dostatečně větrány, ale také revitalizované starší objekty, které zásahem do konstrukce domu přestávají přirozeně větrat, jedná se především o výměnu oken. Nová okna mají vícestupňové těsnění, kterým je prakticky zamezeno přirozené výměně vzduchu infiltrací, ke které docházelo u původních starších oken.

Obavy uživatelů z tepelných ztrát mají za příčinu omezování větrání okny či mikroventilací. Důsledkem těchto obav je nevyhovující vnitřní prostředí. Řešením této problematiky je, v dnešní době, realizace řízeného větrání se zpětným získáváním tepla, díky kterému je uživateli zaručena konstantní výměna interiérového vzduchu při minimálních tepelných ztrátách. Řízené větrání je plně regulovatelné, takže si uživatel může nastavit výkon zařízení podle svých potřeb. Pro správné udržení kvalitního vnitřního prostředí mohou být do systému řízeného větrání nainstalovány senzory snímající koncentraci škodlivin, jako CO₂ nebo vlhkost, které výkon systému regulují automaticky, podle míry znečištění. Systém řízeného větrání tedy udržuje vnitřní prostředí konstantně dostatečně kvalitní a tím snižuje riziko zdravotních komplikací. Další významnou výhodou řízeného větrání je zvýšený komfort bydlení, protože uživatel nemusí vůbec otevírat okna. Zpětné získávání tepla má zásadní význam v energetických úsporách, které se projevují finančně, ale také z hlediska životního prostředí.

2 Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí

Vnitřní prostředí nebo také mikroklima je prostředí uvnitř stavby, které je ovlivňováno vnitřními i vnějšími faktory, čímž se liší od prostředí okolního. Stav mikroklimatu určují energetické a hmotnostní toky mezi dvěma prostředími. Lidé tráví ve vnitřním prostředí většinu času, jako je patrné z grafu č. 1. Kvalita interiérového prostředí obývaných prostor je velice důležitá, protože má významný vliv na lidské zdraví. (Kabele, 2013)

Graf 1- Procentuální vyjádření pobytu osob v jednotlivých prostředí



Zdroj: (Kabele, 2013)

2.1 Normativní požadavky

Nároky na vnitřní prostředí jsou v obecném znění formulovány v zákonech. Podrobnější upřesnění požadavků je zpracováno ve vyhláškách a nařízeních vlády, kde lze nalézt konkrétní limity pro dané případy a další požadavky, které musí stavba splňovat. Pro oblasti, které nemají závazné právní pokrytí, je možné použít technické normy. Normy však slouží pouze jako doporučení, tudíž jejich splnění není nutné a státem vynutitelné. (Mathauserová, 2009)

V následujících podkapitolách jsou uvedeny zákony, předvádějící předpisy a normy, které mají vliv na stav vnitřního prostředí.

2.1.1 Zákony

Základní prameny určující požadavky na vnitřní prostředí:

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

Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů-tento zákon stanovuje hygienické limity pro chemické, fyzikální a biologické parametry.

Zákon č. 262/2006 Sb., Zákoník práce-nařizuje bezpečnostní a hygienické požadavky v pracovním prostředí. Jedná se například o teplotu, vlhkost nebo řádné osvětlení pracoviště.

2.1.2 Nařízení vlády a vyhlášky

Nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací-podrobněji specifikuje další požadavky na ochranu zdraví na pracovišti například mezní hranici akustického tlaku.

Nařízení vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením-definuje požadavky na ochranu zdraví před fyzikálními vlivy, jakými jsou optická záření z umělých zdrojů nebo elektromagnetická pole.

Vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj č. 137/1998 Sb., o obecných technických požadavcích na výstavbu.

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

Vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj č. 20/2012 Sb., nařizuje minimální množství výměny čerstvého vzduchu na osobu v místnosti a limitní koncentraci oxidu uhličitého určující kvalitu vzduchu.

2.1.3 Normy

ČSN EN13779 Větrání nebytových budov

Tato norma stanovuje relativní parametry pro větrací a klimatizační systémy a zabývá se nebytovými prostory, které jsou určeny pro pobyt osob. Nevztahuje se však na nebytové prostory využívané jako výrobní provozy.

ČSN EN 1886 Provedení jednotek

Jedná se normu definující klasifikaci a zkušební metody pro jednotky na úpravu vzduchu.

ČSN EN 15665/Z1 Větrání budov

Stanovuje výkonnostní kritéria pro přívod a odtah vzduchu v obytných budovách. V příloze Z1 jsou formulovány požadavky na větrání obytných budov a uvedeny doporučení vhodných systémů větrání.

ČSN EN 15251 Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky.

Norma určuje kritéria pro dimenzování systémů, posouzení energetické náročnosti a kvalitu vnitřního prostředí v delším časovém intervalu. Dále tato norma kategorizuje vnitřní prostředí podle typu uživatelů, typu budovy, typu klimatu a národních rozdílů.

2.2 Uživatelské požadavky

Kvalita a stav vnitřního mikroklima jsou ovlivňovány především provedením konstrukce stavby, provozem budovy a momentálním stavem vnějšího prostředí. Základními uživatelskými požadavky jsou konstantně vyhovující stav vnitřního prostředí s minimálními energetickými nároky při změnách vnějšího klimatu po celý rok (Beranovský, 2011).

Základem pro zdraví člověka a udržení pohody v obytných prostorech, je zajištění výměny čerstvého vzduchu, čímž se udrží kvalita mikroklimatu uvnitř obytných domů. Větráním vnitřního prostředí je docíleno odstranění škodlivin, které by mohly vést k neblahému dopadu na lidské zdraví (Greener future solutions, 2013).

2.2.1 Teplota a vlhkost

Výrazný vliv na stav mikroklimatu má tepelně vlhkostní složka, která se projevuje působením vodní páry a tepla z vnitřních i vnějších zdrojů. Klasický ukazatel pro hodnocení vnitřního prostředí je tepelná pohoda. Tepelná pohoda je ovlivňována teplotou vzduchu a okolních ploch, rychlostí proudění vzduchu v prostorech, kde se člověk pohybuje, tepelně izolačním ohřevem, tělesnou aktivitou člověka a vlhkostí vzduchu. Teplota a vlhkost také ovlivňují životnost stavebních materiálů a zařízení. Pasivní domy mají velmi kvalitní izolace, díky kterým mají obvodové stěny téměř stejnou teplotu jako vnitřní prostředí. Správně navrženým větracím systémem docílíme toho, že teplota v místnosti bude stejná a nebude vykazovat rozdíly podle výšky. V budovách s kvalitním zasklením není potřeba zvyšovat teplotu ani nad 20 °C. V tabulce č.1 jsou uvedeny

doporučené hodnoty teplot, rychlosti proudění a relativní vlhkosti vzduchu pro obytné

Parametry	Topné období	Letní období
operativní (výsledná) teplota vzduchu t_o (°C)	18–24	20–28
rychlost proudění vzduchu (m/s)	$\leq 0,1$	0,1–0,2
rozdíl teplot ve výši 1,7 a 2,0 m (°C)	≤ 3	≤ 3
relativní vlhkost vzduchu	40–60	40–60
teplota podlahy	19–28	–

stavby (Greener future solutions, 2013).

Tabulka 1 - Doporučené základní hodnoty pro vnitřní prostředí obytných prostor

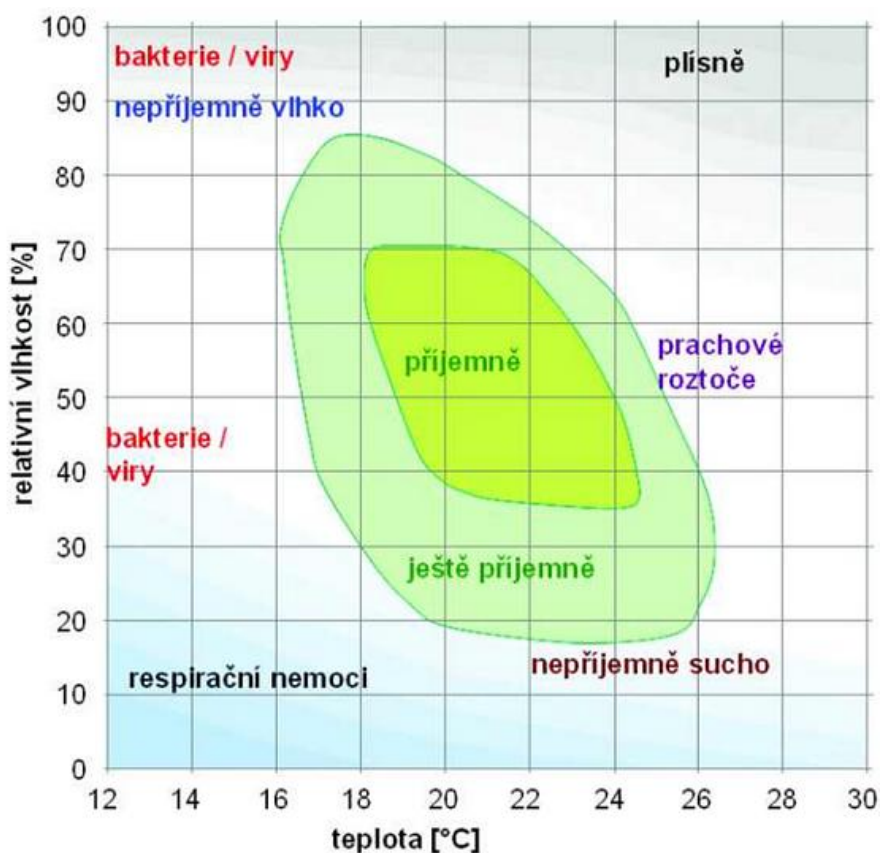
Zdroj: (Greener future solutions, 2013)

Docílení optimální vlhkosti není tak snadné jako u teploty. Vlhkost vnitřního prostředí člověk pociťuje a hodnotí velice obtížně. Jako optimum pro lidské zdraví se uvádí hodnoty vlhkosti v rozmezí 30 % – 60 %. Podle normy ČSN 73 0540-2 je doporučeno udržovat relativní vlhkost vnitřního prostředí na hodnotě 50 %.

Nejsnadnější způsob, jak udržet správnou míru vlhkosti v obytných prostorech je zajištění dostatečné výměny vzduchu. Relativní vlhkost pod 20 % v topném období nebo nad 60 % v ostatních ročních obdobích má negativní vliv na lidské zdraví. Vyšší hodnoty relativní vlhkosti, než je uvedené optimum, mají vliv na kondenzaci vodních par na obvodových stěnách a následnému vzniku plísní (Hazucha, 2009).

V grafu č. 2 jsou uvedeny rizika vznikající při různých hodnotách relativní vlhkosti a teploty vzduchu.

Graf 2 - Diagram relativní vlhkosti a teploty vyjadřující komfort a zdravotní rizika ve vnitřním prostředí



Zdroj: (Hazucha, 2009)

Hlavními zdroji vlhkosti v budovách jsou: koupelny, kuchyně, místnosti na sušení prádla, metabolismus člověka a pokojové rostliny. Celková produkce vlhkosti může dosahovat více než 10 kg vodní páry za den na domácnost, viz tabulka č. 2. Náhlé zvýšení vlhkosti způsobuje pohlcení vodních par stavebními materiály, ze kterých se následně musí odvětrat okny nebo vzduchotechnikou. Při výměně vzduchu pod 0,1 objemu za hodinu stoupá relativní vlhkost snadno nad 80 %. Tento případ může běžně nastávat v těsných prostorech, jako je většina současných novostaveb, které nemají zajištěnou dostatečnou výměnu vzduchu (Hazucha, 2009).

Tabulka 2 - Produkce vlhkosti v domácnosti

Produkce vlhkosti v domácnosti	
vodní pára-bdělé osoby	55 g/h na osobu
vodní pára-spící osoby	40 g/h na osobu
snídaně	50 g/h na osobu
oběd	300 g/h na osobu
vaření na plynu	350 g/h na den
praní/sušení	12000 g/praní
sprchování	300 g/sprcha
čtyř členná rodina	8-10 kg/den

Zdroj: (Mathauserová, 2009)

Opačný případ nastává při příliš vysoké intenzitě výměny vzduchu, kdy dochází ke snížení vlhkosti pod optimální rozmezí. K nežádoucímu snížení relativní vlhkosti dochází zejména v zimních obdobích, protože chladný venkovní vzduch nedokáže absorbovat tolik vlhkosti jako teplý. Ve skutečnosti to znamená, že při ohřátí vzduchu o teplotě -10 °C na 20 °C klesne jeho relativní vlhkost pod 15 % (Kabele, 2013)

2.2.2 Plyny

Nežádoucí látky plynného skupenství, které se běžně vyskytují v domácnostech, jsou oxid uhličitý, vodní pára, těkavé organické látky, formaldehyd, ftaláty a jiné. Mezi zdroje škodlivých plynů řadíme lidské metabolické procesy, čisticí prostředky, elektroniku a také plyny uvolňující se z nábytku a různých nátěrů. Důsledky vyšší koncentrace škodlivých plynů se projevují bolestmi hlavy, podrážděním očí a sliznic (Habel, 2012).

2.2.2.1 Koncentrace oxidu uhličitého (CO₂)

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn, který nemá žádnou chuť a běžně se vyskytuje ve vnitřním i vnějším prostředí. Ve vnitřním prostředí je hlavním producentem CO₂ člověk, který oxid uhličitý vytváří při spalovacích a metabolických procesech. Množství CO₂ vzniklé těmito procesy je závislé na míře fyzické aktivity a hmotnosti a výšce člověka. Produkce oxidu uhličitého se pohybuje v rozmezí 4–26 litrů za hodinu.

Míra koncentrace CO₂ se uvádí v jednotkách ppm (Parts per milion), 1ppm představuje 0,001 % daného objemu. Koncentrace oxidu uhličitého ve vnějším prostředí

závisí na hustotě osídlení určité lokality a uvádí se hodnota mezi 380 až 450ppm. Na zemi se však již hodnota 380ppm nevyskytuje.

Hodnota koncentrace CO₂ je vnímána, jako jeden z nejdůležitějších ukazatelů kvality mikroklima v obytných prostorech a jeho maximální limity jsou uvedeny v příslušných normách. Z tabulky č. 3 je zřejmé, že při určitých koncentracích oxidu uhličitého dochází k zdravotním potížím a může být i životu nebezpečný (Zmrhal, 2011).

Tabulka 3 - Vliv oxidu uhličitého na lidské zdraví při různých koncentracích

360-400 ppm	koncentrace ve venkovním vzduchu
800-1000 ppm	doporučená koncentrace CO ₂ ve vnitřních prostorech
1200-15000 ppm	doporučená maximální (reálná) koncentrace CO ₂ ve vnitřních prostorech
>1500 ppm	nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace, ospalost, letargie
<5000 ppm	maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
>5000 ppm	nevolnost, zvýšený tep
>10000 ppm	prokázány zdravotní problémy
>40000 ppm	životu nebezpečné i při krátkém působení

Zdroj: (Mathauserová, 2009)

Postupný průběh hodnot koncentrace oxidu uhličitého lze získat výpočtem, když známe aktuální hodnotu koncentrace, produkci a intenzitu větrání. Nejsnadněji se hodnoty koncentrace CO₂ získávají měřicími přístroji se sondami, které zaznamenávají údaje o koncentraci v čase.

2.2.2.2 Toxické plyny

V domácnostech se běžně mohou vyskytovat jedovaté plyny, které mají nepříznivý vliv na lidský organismus. Jedná se zejména o oxidy síry, oxid uhelnatý, oxidy dusíku, ozón, smog, formaldehyd a další. V kuchyních s nedostatečným odvětráním se může až zdvojnásobit koncentrace oxidu dusíku a oxid dusičitý je přitom pro člověka vysoce karcinogenní.

Řešením pro odstranění toxických plynů z obytných budov je z hlediska technického i ekonomického dostatečné větrání. Dalšími metodami, kterými můžeme

eliminovat jedovaté plyny, jsou filtrace aktivním uhlím nebo ionizace vzduchu, tyto varianty jsou však ekonomicky náročnější (Hazucha, 2009).

2.2.2.3 Odéry

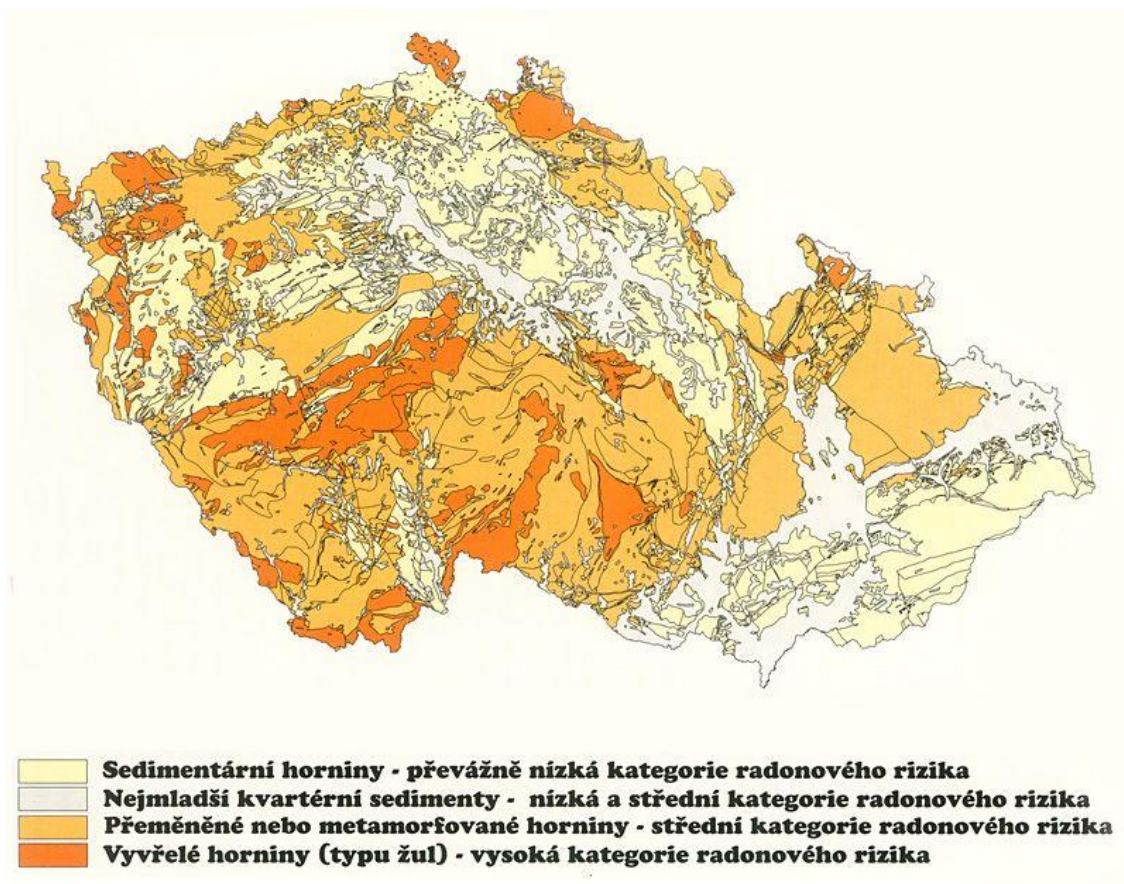
Odéry nebo také vůně a zápachy jsou složité organické plynné sloučeniny obsažené v ovzduší. Do obytných interiérů se odéry dostávají zvenku i zevnitř. Tyto plyny jsou produkovány člověkem a jeho činností nebo také vybavením interiéru, textiliemi, rostlinami a elektronikou. Běžně v domácnostech odéry vznikají například kouřením nebo přípravou jídla, ale můžeme se setkat i s látkami, jakými jsou styreny, formaldehydy, organická rozpouštědla, odpary z nátěrů nebo ftaláty. Člověk kromě CO₂ produkuje také antropotoxiny (tělesné pachy), které při zvýšené koncentraci, na rozdíl od oxidu uhličitého, lidé snadněji indikují (Jokl, 2002).

2.2.2.4 Radon

Radon je přírodní radioaktivní plyn, který vzniká procesem přeměny uranu. Uran je v různých množstvích obsazen ve všech materiálech zemské kůry, tudíž je radon všudypřítomný. Radon se dále přeměňuje na další radioaktivní prvky, kterými jsou izotopy polonia, olova a bismutu. Časté dýchání větší koncentrace těchto prvků je zdravotně škodlivé, protože dochází k usazování na dýchacích cestách a následnému ozáření. Vliv radonu na lidské zdraví se projevuje vznikem rakovinových onemocnění, převážně rakovinou plic. Působení radonu na lidský organismus je druhou nejčastější příčinou vzniku rakoviny plic hned po kouření. Doba, za kterou se může projevit rakovina plic, způsobená tímto druhem ozáření, je 10–30 let (Hazucha, 2009).

V mnoha případech je radon v kritickém množství přítomen ve vnitřním prostředí budov. Nejčastěji je zdrojem podlaží budovy, kde jsou vyšší koncentrace radonu. U vytápěných budov vzniká u podlah sklepa a přízemí podtlak, který netěsnostmi a prasklinami způsobuje proniknutí radonu do interiéru. Další příčinou přítomnosti nežádoucího množství radonu ve vnitřním prostředí je jeho uvolňování ze stavebního materiálu. Radon obsahují například i některé stěnové bloky, které byly použity při výstavbách sídlišť v Stochově, Letňanech, Kbelích, Petřinách, Radotíně, Strašnicích atd. Tyto stěnové bloky byly vyrobeny v druhé polovině 50. let ze škváry, která vznikla spálením uhlí z dolu Anna v Rynholci. Některé uhelné sloje vytěžené v tomto dolu byly uvnitř proloženy horninou s vysokou koncentrací radonu. Na obrázku č. 1 je mapa České republiky se schématickým znázorněním radonové zátěže (Hazucha, 2009).

Obrázek 1 - Znázornění koncentrace výskytu radonu na území České republiky

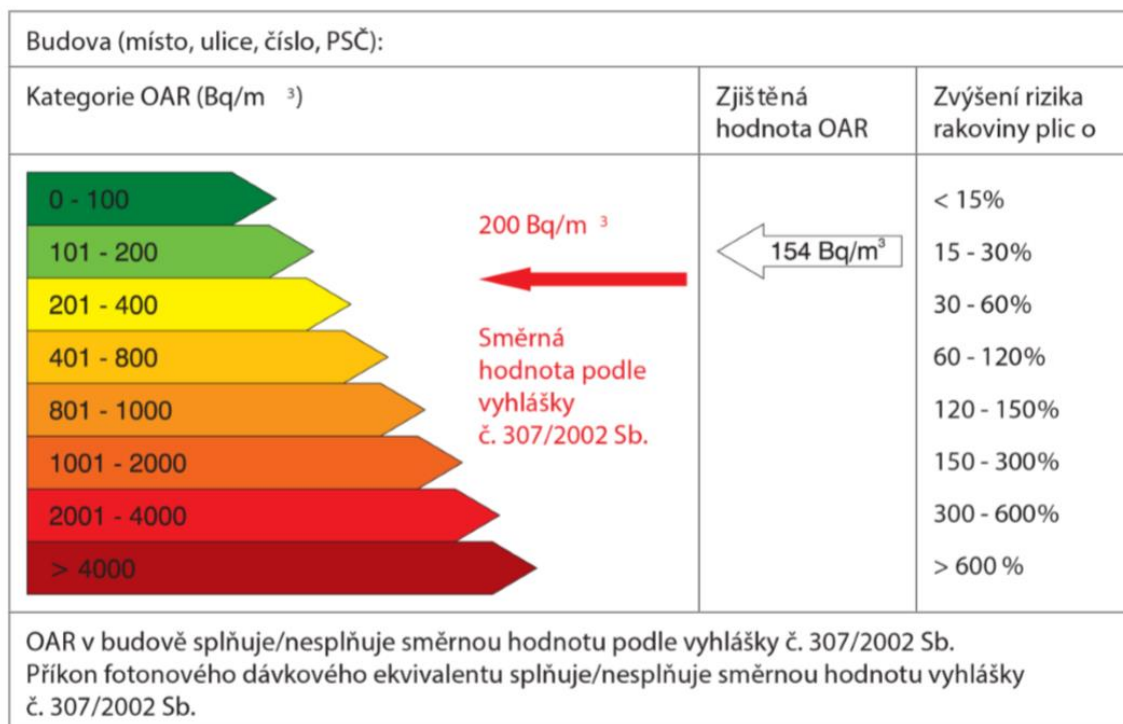


Zdroj: (Česká geologická služba, 2007)

Pokud je zvýšená koncentrace radonu v budovách způsobena pronikáním z podloží, je potřeba, aby byla dobře provedená hydroizolace, tak aby byly utěsněné všechny možné prostupy a netěsnosti. Nejúčinnějším řešením pro ochranu proti radonu je systém řízeného větrání navržený v přetlaku.

V rámci ČSN 73 0601 byl zaveden tzv. radonový štítek budovy, který je uveden na obrázku č. 2, slouží k přehlednému porovnání průměrné naměřené hodnoty koncentrace radonu se směrnou hodnotou 200 Bq/m^3 podle vyhlášky č. 307/2002 Sb. Na štítku je také procentuální vyjádření rizika vzniku rakoviny plic podle koncentrace objemové aktivity radonu. Funkce radonového štítku je pouze informativní a je možné ho použít pro prokázání koncentrace radonu v budově například pro účely kolaudačního řízení (Odehnal, 2013).

Obrázek 2 - Radonový štítek



Zdroj: (Odehnal, 2013)

2.2.3 Mikroby

Vnitřní prostředí obytných budov obsahuje také mikrobiální mikroklima, které se skládá z mikroorganismů v ovzduší. Mezi mikroorganismy patří viry, bakterie, pliny, plísňe a jejich spory. V současné době se často projevují alergické intolerance na různé druhy spor plísní a plynových částic. Hodnocení kvality ovzduší z hlediska mikrobiálního mikroklimatu se posuzuje podle limitní koncentrace mikrobů. Pro interiéry obytných prostor je maximální hranice 200–500 mikrobů na m³ a pro operační sály je maximální koncentrace 70 mikrobů na m³. Přítomnost mikroorganismů v obytných prostorech způsobují převážně aerosoly, které se mohou vyskytovat v tekuté nebo převážně pevné fázi, což je prach. Mezi nejčastější přenašeče mikrobů patří hmyz. Výskyt hmyzu v interiérech lze eliminovat takzvanou deodorizací vzduchu, která spočívá v rozprašování slabého roztoku oleje z himalájského cedru. K antibakteriální ochraně lze požit i jiné oleje, ale nejúčinnějším řešením pro snížení koncentrace mikrobů v mikroklimatu je správné větrání s přívodem čerstvého vzduchu přes vhodně zvolené filtry. Filtry pro vzduchotechnické zařízení slouží k zachycování pevných částic, kterými mohou být například prach nebo hmyz. Vybrané filtry mají také funkci oddělování mikroorganismů.

Použitím správného filtru je možné zbavit se pronikání zápachu z okolního prostředí. Instalace nuceného větrání do obytných prostor, se správně zvoleným filtračním médiem, je vhodným řešením pro alergiky, kteří mají vysoké nároky na čistotu vzduchu. Níže uvedená tabulka č. 4 charakterizuje jednotlivé filtrační třídy, podle kterých jsou vzduchotechnické filtry rozlišovány (Tůma, 2008).

Tabulka 4 – Charakteristika filtračních tříd

Skupina filtrů	Třída filtrace	Příklady odlučovaných látek	Doporučení při používání
skupina G	G1 G2	listy hmyz textilní vlákna písek vlasy	slouží jako předfiltr (hrubá filtrace), odlučuje pouze pevné částice, pro VZT zařízení nutné použít v kombinaci s filtry vyšší filtrační třídy
	G3 G4	květný pyl mlha	základní třída filtrace používaná samostatně ve VZT jednotkách, lze také použít jako předfiltr pro filtrační třídy F8/F9
skupina F	M5 M6 F7 F8	nahromaděné saze prach procházející plicemi cementový prach	jemný stupeň filtrace používaný při vyšších nárocích na kvalitu vnitřního prostředí, předfiltry pro třídy H11/H12
	F9	tabákový kouř bakterie olejové kouře	používaný v nemocnicích, pro prostory s vysokým nárokem na prostředí
skupina H	H10 H11	zárodky saze kouř kyslíčnicků kovů	pro laboratorní prostory, koncové filtry pro čisté prostředí tříd ISO \geq 7
	H12 H13	olejové kouře ve stavu vzniku zbytky výparů z mořské soli	koncové filtry pro čisté prostory tříd ISO \geq 5, pro jiné prostory s velmi vysokými požadavky na čistotu-čisté výrobní prostory
skupina U	U15 U16 U17	aerosoly-mikročástice	koncové filtry pro čisté prostory, superčisté prostory v lékařství, laboratorní prostory pro léčiva
skupina A	aktivní uhlí	smogové zatížení tělesné zápachy nemocniční zápachy lehké těkavé uhlovodíky výpary rozpouštědel potravinářské a hnilobné zápachy	odstranění škodlivých plynů, při vysoké smogové zátěži, vhodné pro odloučení zápachů v obytných prostorech, kancelářích, hotelích apod.

Zdroj: (Atrea, 2014)

Pro správné větrání je důležitá i včasná výměna filtrů. V případě vyššího zanesení filtračního prvku se snižuje objemový tok přiváděného vzduchu a může docházet k pronikání již zachycených nečistot přes filtr. Interval výměny filtrů je závislý na ročním období a venkovním prostředí.

2.3 Ekonomické požadavky

V současnosti je trendem snižovat energetickou náročnost bydlení. Na úkor tohoto trendu se však značně znehodnocuje vnitřní prostředí. Jedná se především o zateplování fasád a výměnu oken. Tyto stavební úpravy způsobují neprodyšnost budov a celkové uzavření obálky domu. Po zmíněných úpravách je často systém větrání poddimenzován nebo chybí úplně. Dostačující kvalitu vzduchu ve vnitřním prostředí zajistíme řízeným větráním, kterým však zaznamenáme zvýšení spotřeby energie, které je potřebná pro dopravu a ohřev přiváděného vzduchu. Řešením pro snížení energie na vytápění budovy je využití tepla odpadního vzduchu neboli rekuperace.

Při posuzování návratnosti investice do systému větrání s rekuperací se vyčíslí roční úspora energie, která se následně sníží o cenu energie spotřebované zařízením. Tato snížená úspora se dále porovnává s investičními náklady na samotný systém a jeho instalaci. Tímto získáme informaci o výhodnosti investice z ekonomického hlediska. Návratnost investice by se měla, v ideálním případě, pohybovat do deseti let. Z pohledu energetického a uživatelského pohodlí se investice do rekuperačního větrání vyplatí jistě (Zmrhal , 2014).

3 Způsoby větrání

Cílem větrání je přívod dostatečného množství čerstvého vzduchu, který splňuje nároky na kvalitu složení. Při distribuci čerstvého vzduchu nesmí být překročeny hlukové limity. Kvalita vnitřního prostředí je závislá také na odvodu škodlivin z interiéru, kterými jsou například pachy, vlhkost nebo anorganické a organické sloučeniny. Způsoby větrání se podle základního rozdělení rozlišují na větrání přirozené a nucené. Nuceného větrání je docíleno instalací technologie, zatím co k přirozenému větrání dochází samovolně (Veselý , a další, 2012).

3.1 Přirozené větrání

Přirozené větrání je nejsnadnějším způsobem, kterým lze dosáhnout požadované výměny vzduchu ve vnitřním prostředí, například pomocí oken, infiltrací, netěsnostmi, šachtami nebo střešními světlíky. U rodinných domů se s šachtovými a střešními způsoby větrání nesetkáme. K výměně vzduchu přirozeným způsobem dochází na základě rozdílných měrných hmotností teplého a studeného vzduchu, čímž dojde k pohybu vzduchu a tím i k větrání. Tento rozdíl není stálým jevem, tudíž regulace větrání tímto způsobem je velmi obtížná. Nevýhodou přirozeného způsobu větrání je jeho nehospodárnost, protože celý objem přiváděného vzduchu se musí znovu ohřívat, případně zchlazovat na požadovanou teplotu vnitřního prostředí (Veselý , a další, 2012).

3.1.1 Větrání netěsnostmi

K infiltračnímu způsobu větrání dochází vniknutím vzduchu přes netěsnosti oken, dveří nebo v obvodových konstrukcích. Prostup přes netěsnosti je způsoben rozdílnými tlaky vnitřního a vnějšího prostředí. Intenzita větrání je závislá především na vnějším prostředí, protože vnitřní teplota se během roku výrazně nemění. V zimních obdobích se využívání infiltračního větrání prodražuje a to, jak již bylo uvedeno, v současnosti vede k realizaci staveb dokonale utěsněným a zatepleným. U těchto budov se téměř zamezí přirozené infiltraci, tudíž domy mohou být odvětrávané pouze nuceným větráním nebo manuálním otevíráním oken (Hazucha , a další, 2010).

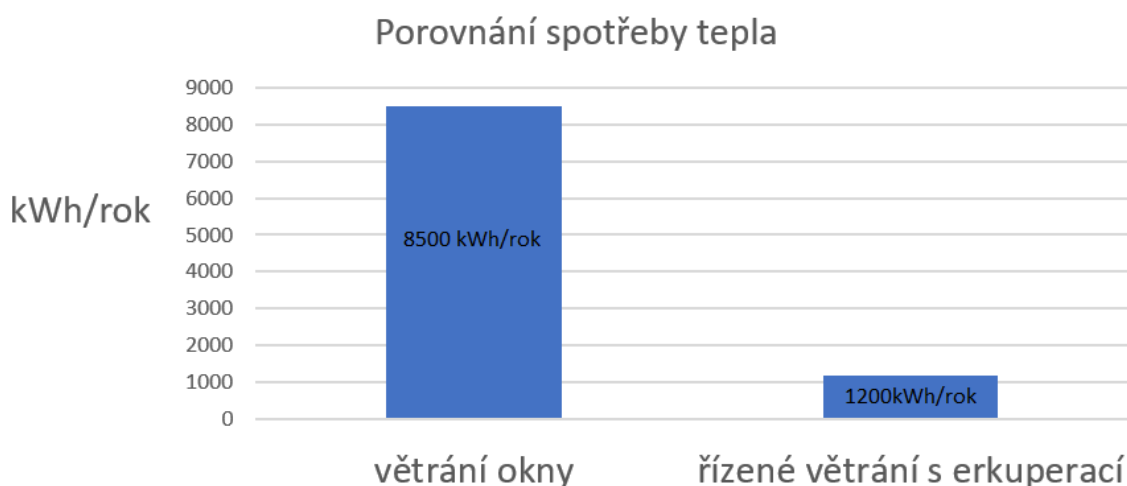
3.1.2 Větrání okny

U rodinných domů je větrání okny nejčastější metodou výměny vzduchu. Intenzita větrání probíhá, stejně jako u infiltrace, pohybem vzduchu způsobeným rozdílem tlaků

vnitřního a vnějšího prostředí. Další faktor ovlivňující množství přiváděného vzduchu je míra otevření okna. V zimních měsících je z ekonomického hlediska hospodárnější otevření okna na kratší dobu po více intervalech než naopak. V teplejších měsících, kdy se teploty exteriéru a interiéru přibližují, je nutné intervaly prodloužit, kvůli snižování tlakové diference. Současní výrobci oken umožňují navíc i větrání takzvanou mikro ventilací, což v praxi znamená úmyslné neutěsnění okna v zavřené poloze. Tímto způsobem se vytvoří netěsnost, díky které může docházet k infiltraci, tedy paradoxně stejně jako tomu je u starých dřevěných oken, která nebyla dokonale těsná. Metoda větrání okny, je stejně jako u větrání netěsnostmi, náročná na spotřebu energií vynaložených na ohřátí čerstvého vzduchu. Větrání okny v chladných dnech představuje narušení tepelné pohody v interiéru. Tento způsob neumožňuje instalaci filtrů ani tlumiče hluku, tudíž nelze zabránit pronikání hmyzu, nečistot a hluku z vnějšího okolí. Jediné možné opatření je instalace sítí proti hmyzu do oken, to však bývá uživatelsky nekomfortní a v běžném životě nepraktické (Drápalová, 2006).

Z pohledu uživatelského pohodlí a také především nižší energetické náročnosti jsou výhodnější systémy nuceného větrání s rekuperací tepelné energie. Na obrázku č. 3 je zobrazeno porovnání spotřeby energií, při větrání okny s nuceným větráním se zpětným ziskem tepla, za dodržení hygienických podmínek pro obytnou plochu 168 m².

Graf 3 - Rozdíl spotřeby tepla s použitím a bez použití rekuperace tepelné energie



Zdroj: (PAUL, 2007)

3.2 Nucené větrání

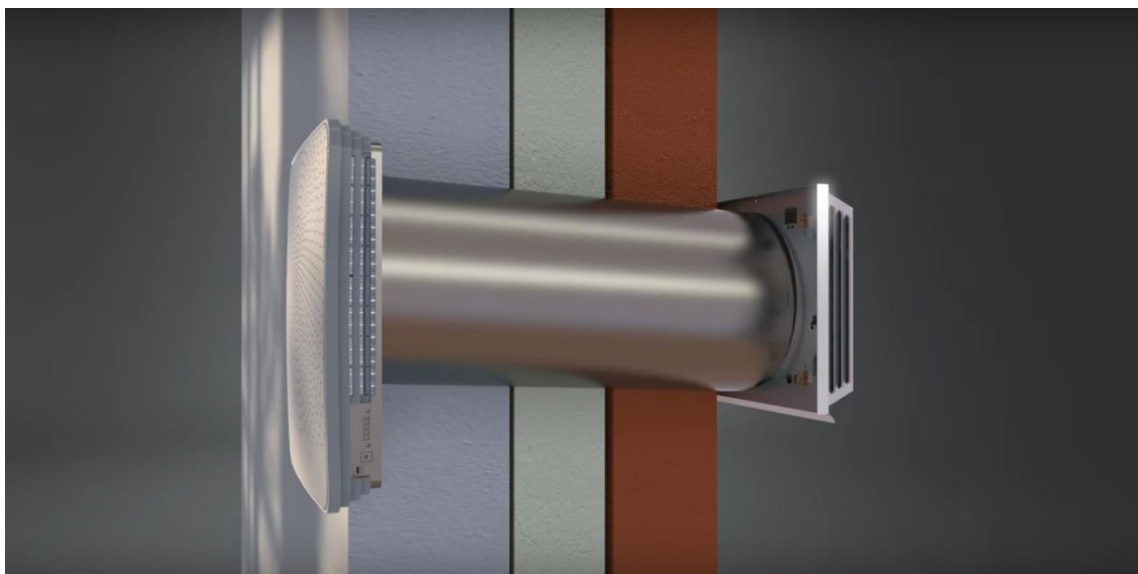
Nejefektivnější způsob udržení kvalitního vnitřního prostředí s úsporou energií a vysokým uživatelským komfortem je správně navržený, instalovaný a zregulovaný systém nuceného větrání s rekuperací tepelné energie. Základem tohoto systému je rekuperační jednotka, která zaručí vysokou účinnost s nízkou energetickou náročností. Větrací systémy bez rekuperace zaručují pouze přívod a odtah vzduchu. Tyto systémy jsou výrazněji méně hospodárné a nesplňují standardy hygienické či uživatelské, tudíž se již v současnosti nedoporučují, a to především u novostaveb (Hazucha , a další, 2010).

Rekuperační jednotky, tedy i rekuperační systémy se dělí do základních dvou skupin na lokální a centrální.

3.2.1 Lokální rekuperace

Rekuperační jednotky lokální (tj. decentrální) jsou instalované na obvodovou zeď, kde jsou přímo propojené s exteriérem, viz obrázek č. 3. Decentrální jednotky jsou určeny pouze pro odvětrávání místnosti, ve které je jednotka umístěna. Lokální rekuperace nevyžaduje žádné rozvody a instalace jednotky není obtížná. Tento systém je vhodný například do panelových bytů, kde není potřeba velký objem výměny vzduchu, nebo pro odvětrávání koupelen.

Obrázek 3 - Lokální rekuperační jednotka



Zdroj: (AMERICAN BOHEMIAN CORPORATION, 2015)

Využití lokální rekuperace pro výměnu vzduchu v celém rodinném domě se kvůli velkému počtu potřebných jednotek nevyplatí. Vhodnějším řešením je v tomto případě centrální rekuperační systém větrání, kterým se bude diplomová práce, vzhledem k tématu, dále věnovat (Šancová, 2010).

3.2.2 Centrální rekuperace

Principem systému centrálního rekuperačního větrání je distribuce vzduchu v potrubních rozvodech do daných místností. Celá činnost větrání je závislá na rekuperační jednotce, která kromě samotné tepelné výměny, obstarává i přívod a odtah vzduchu v interiéru a exteriéru. Umístění centrální rekuperační jednotky může být různé, ideální způsob je umístění jednotky do technické místnosti. Distribuční elementy pro přívod čerstvého vzduchu jsou umístěny v obytných místnostech, jako jsou ložnice, dětské pokoje, pracovny a obývací pokoje. Nasávání interiérového vzduchu je prováděno v provozních místnostech, kde bývá vnitřní prostředí znehodnoceno, tedy v koupelnách, kuchyních, toaletách atd. Přívod čerstvého vzduchu z exteriéru a odtah znehodnoceného vzduchu z interiéru je prováděn přes propojení, které může být na fasádě, v podbití nebo na střeše. Uvnitř jednotky je rekuperační výměník, ve kterém dochází k tepelné výměně mezi čerstvým venkovním vzduchem a odtahovaným vzduchem z provozních místností (Maurer, 2007).

3.3 Koncepce nuceného větrání

Volba koncepce větrání je ovlivňována různými faktory vyplývající z účelu daných prostor a požadavků na ně.

3.3.1 Přetlakové větrání

Přetlakového větrání je docíleno přívodem většího množství vzduchu, než je odvedeno. Tímto způsobem se zabraňuje pronikání neupraveného vzduchu z vnějšího prostředí infiltrací. Přetlakové větrání se využívá například u operačních sálů, výpočetních středisek nebo u místností s klimaticky náročnou výrobou (Kulhánek, 2012).

3.3.2 Podtlakové větrání

Při větším množství odváděného vzduchu, než přiváděného vzniká v místnostech podtlak, který zaručí intenzivní odtah vzduchu. Tato metoda větrání se používá v prostorách, kde dochází k výraznějšímu znehodnocení vzduchu, jako jsou například

restaurační kuchyně, veřejné toalety nebo prostory se zvýšenou koncentrací radonu (Gebauer, a další, 2005).

3.3.3 Rovnotlaké větrání

Nastavením ventilátorů na stejný výkon dochází k rovnotlakému větrání, protože množství přiváděného a odváděného vzduchu je totožné. Rovnotlaké větrání je ideálním řešením pro nízkoenergetické stavby s dokonalou izolací a utěsněnou obálkou domu (Gebauer, a další, 2005).

4 Řešení systému větrání s rekuperací pro rodinné domy

V této kapitole se práce zabývá systémem větrání se zpětným získáváním tepla z pohledu projekce. Řešení může mít různé podoby a návrh systému se odvíjí od dispozic daného domu.

Se systémem řízeného větrání je dobré počítat již při projekci stavby. Rekuperační jednotky mají různé rozměry, současné jednotky pro rodinné domy nebývají větší než automatická pračka. Při návrhu samotného domu je tedy účelné počítat s umístěním jednotky. Vhodným místem pro umístění je technická místnost, která bude umožňovat přístup, pro případný servis. Jednotky se také umísťují například do podhledů, sklepů či podkroví. Některé jednotky jsou dimenzovány i na umístění do nezateplených prostor, kde vzniká riziko snížení účinnosti systému, či kondenzace. V projekci stavby by měl být brán zřetel také na rozvody vzduchotechniky a prostoru na jejich instalaci. Vzduchovody bývají umístěné v podhledech, v kročejové izolaci podlahy, v izolaci půdy nebo střechy, v sádkartonových kastlíkách nebo může být potrubí zavěšené u stropu. V místnostech jsou umístěné odtahové nebo přívodní distribuční elementy, kterými jsou ventily či mřížky. Propojení s exteriérem, přes které je zprostředkováno nasávání čerstvého a odtah odpadního vzduchu, je většinou řešeno přes obvodovou zeď domu. Při realizaci exteriérového propojení je důležité osadit výfukovou mřížku s okapovým koncem, který zaručí odvod případného kondenzátu tak, aby nestékal po fasádě domu. Dalším řešením je propojení přes střešní konstrukci pomocí střešních komínků, nebo v podbití střechy.

4.1 Typy potrubí pro rozvod vzduchu

V současnosti je možné rozvádět vzduch po budově v různých typech potrubí, které se liší materiálem, rozměry a také izolačními vlastnostmi. Níže je uvedeno několik základních vzduchovodů s jejich charakteristikou.

4.1.1 Tepelně izolované hliníkové flexi hadice

Tento typ rozvodu se skládá z hliníkové hadice s kostrou, kterou tvoří spirálově vinutý ocelový drát. Hadice je obalena izolační vatou, která je přikryta další hliníkovou vrstvou, viz. obrázek č. 4. Použití tohoto rozvodu je vhodné do nezateplených prostor, kde je vysoké riziko kondenzace, způsobené rozdílnými teplotami vedeného vzduchu a okolím. Pro distribuci vzduchu do celého domu však není tento typ rozvodů ideálním řešením, kvůli poměrně velkému instalačnímu prostoru, který je cca 20 cm a vyšším tlakovým ztrátám, které jsou u jiných potrubí menší.

Obrázek 4 - Tepelně izolovaná hliníková flexi hadice



Zdroj: (Klimat, 2014)

4.1.2 Plastové potrubí ED Flex

Plastové ohebné potrubí ED Flex (obrázek č. 5) se používá pro distribuci vzduchu do jednotlivých místností. Tento typ potrubí se vyrábí o průměru 75 nebo 90 mm. Rozvody potrubí mohou být umístěny v SDK podhledu, v půdním prostoru v izolaci nebo také v kročejové izolaci v podlaze patra nad větraným prostorem. Vnitřní povrch

je hladký, čímž je usnadněno případné čištění. Potrubí ED Flex může mít také antibakteriální nebo protiplísňovou úpravu.

Obrázek 5 - Plastové potrubí ED Flex

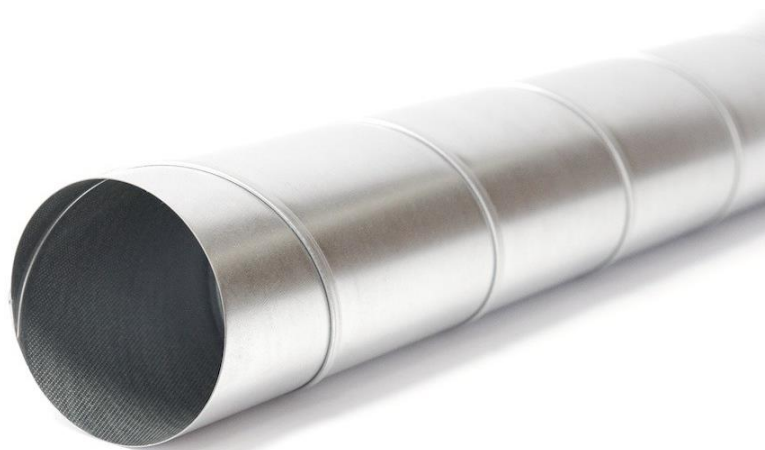


Zdroj: (Klimaflex, 2016)

4.1.3 Spiro potrubí

Spirálově vinuté potrubí z pozinkovaného plechu Spiro je znázorněno na obrázku č. 6, je vyráběno v různých průměrech podle potřebného objemu vzduchu. Toto potrubí může být instalované v SDK podhledu, kde je zavěšené na stropní konstrukci nebo se také zavěšuje ke stropu bez zákrytu, jako pohledové potrubí. Nejčastěji se Spiro potrubí používá jako vzduchovod pro velké objekty, kde je potřeba výměna velkého množství vzduchu, například v nákupních centrech, výrobních halách, bazénech, velkých kancelářských prostorách atd. U rodinných domů není volba tohoto potrubí nepraktičtějším řešením. Instalace na menším prostoru je obtížná kvůli neohebnosti potrubí, každý záhyb v trase tedy musí být opatřen odbočným kusem nebo pravoúhlým kolenem, kde také dochází ke zvýšení tlakových ztrát.

Obrázek 6 - Spiro potrubí

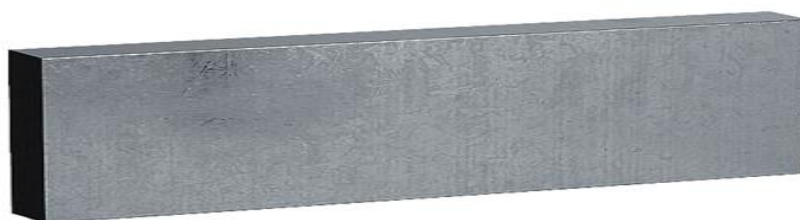


Zdroj: (vzduchotechnika.cz, 2019)

4.1.4 Ploché plechové potrubí

Instalace plochého plechového potrubí je možná do sádkartonového podhledu s relativně malým instalačním prostorem, protože výška potrubí je jen 5 cm. Využití plochého potrubí je také, díky své odolnosti proti mechanickému poškození, vhodné pro instalaci do podlahy. V tomto případě je potrubí vedeno v kročejové izolaci pod anhydritem a podlahovým topením. Názorný typ plochého plechového potrubí je zobrazen na obrázku č. 7.

Obrázek 7 - Ploché plechové potrubí



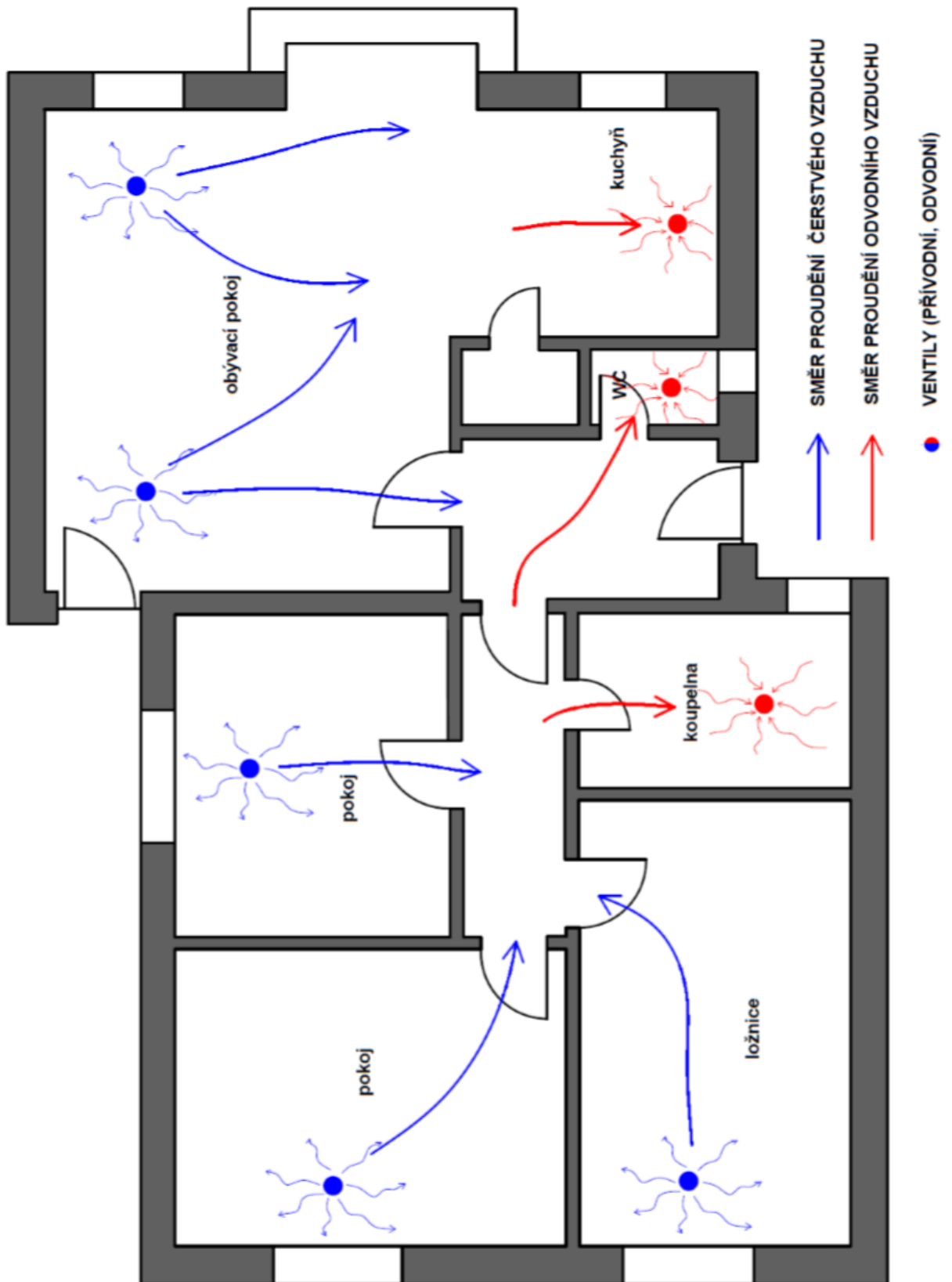
Zdroj: (nerez-kominy, 2016)

4.2 Příklad návrhu řízeného větrání

Při návrhu systému řízeného větrání je potřeba určit jednotku o dostačující kapacitě, určit umístění přívodních a odvodních elementů a navrhnout pro každý z nich objemový průtok, který budou distribuovat. V návrhu řízeného větrání musí být také určen typ vzduchovodů a provedení jejich vedení. Dále by měl návrh obsahovat informaci, jakým způsobem a kde bude provedeno napojení na exteriér. Dimenze rekuperační jednotky a rozvodů musí splňovat požadavky norem na větrání obytných prostor.

Optimálním řešením pro umístění koncových elementů, pro přívod i odtah vzduchu, je u stropu. Vzduch o nižší teplotě, tedy přiváděný, podle fyzikálních zákonů klesá, tudíž kdyby byl přívodní ventil umístěn nízko, držel by se u podlahy a nebyl by dostupný pro uživatele. Naopak teplejší vzduch, tedy vydýchaný a vlhký, stoupá ke stropu, kde by měl být odsáván. Přívodní ventily se zpravidla umísťují na strop obytných místností, 500 mm od středu okna, tím docílíme tzv. omývání a zabráníme rosení. V provozních místnostech, jako jsou koupelny a toalety, se odtahové ventily umísťují do středu místnosti. V kuchyních se odtahové elementy instalují do prostoru nad dřez nebo sporák, neslouží však jako digestoř. Díky mezerám pod dveřmi, které by měly být minimálně 8 mm, je nasáván čerstvý vzduch do místností s odtahovými elementy, čímž dojde k dokonalému provětrání celého objektu, viz obrázek č. 8, který je uveden níže.

Obrázek 8 - Znáznornění pohybu vzduchu v obytném prostoru



Zdroj: (ThermWet, 2009)

4.2.1 Množství větracího vzduchu

Do výpočtu celkového objemu vyměňovaného vzduchu je zapotřebí zahrnout vznik škodlivin, jejichž produkce je obecně známá, jedná se o produkci vlhkosti, spotřebu kyslíku

a produkci oxidu uhličitého. Oxid uhličitý je základní složkou znečišťující mikroklima uvnitř obytných prostor. Pro udržení CO₂ na přípustné hranici musíme brát v úvahu počet osob obývajících objekt, podle kterých se navrhuje množství přiváděného vzduchu za hodinu. (Doležilková, 2006)

Podle vyhlášky Ministerstva pro místní rozvoj č. 20/2012 Sb. musí být v obytných místnostech v době přítomnosti osob zajištěn minimální přísun čerstvého vzduchu 25 m³/h na osobu nebo intenzita větrání 0,5 objemu větrané místnosti za hodinu. Indikátorem kvality vnitřního prostředí slouží koncentrace CO₂, která nesmí přesáhnout 1 500 ppm. Z normy ČSN EN 15665/Z1 2011 vyplývá, že je nutné zajistit odvod vzduchu z prostor, kde dochází ke znečištění vlivem škodlivin, jakými jsou například vlhkost, prach, látky vznikající z vaření atd. (Zmrhal , 2014)

V tabulce č. 5 jsou uvedeny požadované hodnoty na větrání podle ČSN EN 15665/Z1 2011.

Tabulka 5 - Požadavky na větrání objektu

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

Zdroj: (ČSN EN 15665/Z1, 2011)

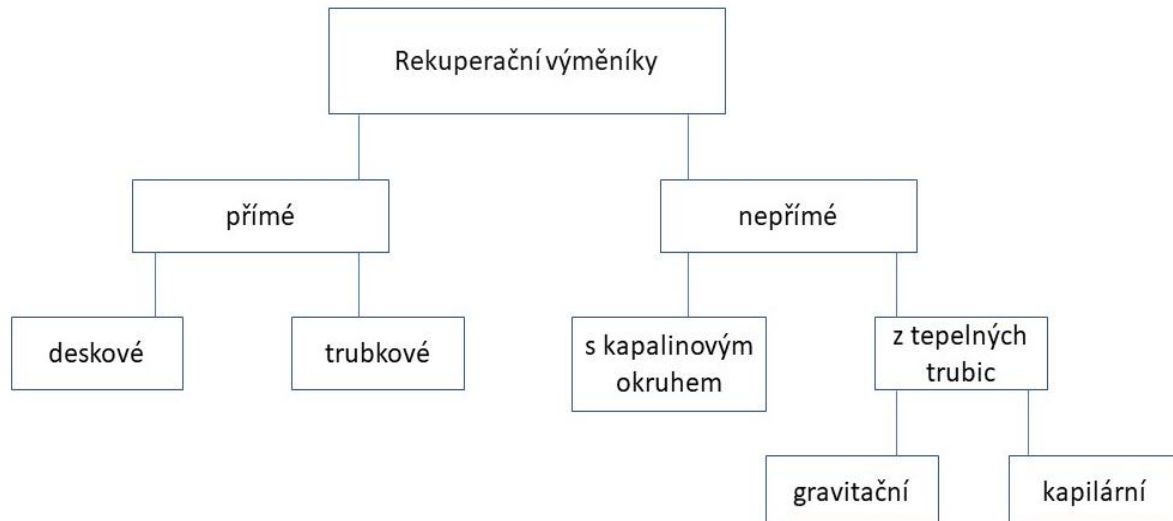
Systémy řízeného větrání mohou mít také funkci intenzivního odvětrání prostor, kterými jsou toalety, koupelna a kuchyně, při kterém dochází ke zvýšením výkonu jednotky. V praxi k tomuto dochází sepnutím čidla vlhkosti, či mechanickým stiskem

spínače pro intenzivní odtah. Zvýšení intenzity větrání může být také spuštěno při zvýšení koncentrace CO₂ za předpokladu, že objekt disponuje čidlem oxidu uhličitého. U rovnotlakých systémů se dočasné zvýšení výkonu jednotky projeví na všech ventilech ať už přírodních nebo odtahových.

4.3 Rekuperační výměníky

Základní funkcí rekuperační jednotky je zajištění kvalitního vnitřního prostředí. Další zásadní význam jednotky je v předávání tepla odpadního vzduchu přiváděnému čerstvému vzduchu. K procesu tepelné výměny dochází uvnitř jednotky ve výměníku. Při tomto procesu dochází především ke sdílení citelného tepla a jelikož jsou oba proudy odděleny pevnou, neprodyšnou stěnou (teplosměnnou plochou), nedochází ke sdílení vlhkosti či jakémukoliv znehodnocení čerstvého vzduchu vzduchem odpadním. Rekuperační výměníky se liší podle konstrukčního řešení. V níže uvedeném obrázku jsou znázorněny rekuperační výměníky používané pro rodinné domy (Smola , a další, 2012).

Obrázek 9 - Schéma rozdělení rekuperačních výměníků



Zdroj: (Kulhánek, 2012)

4.3.1 Rekuperační výměníky přímé

U přímých rekuperačních výměníků dochází k tepelné výměně přes teplosměnnou plochu. Nejčastějším typem přímých výměníků jsou výměníky deskové. Teplosměnnou plochou jsou u deskových výměníků rovné, zvlněné nebo fóliové lamely. Nejpoužívanější materiály, ze kterých se tyto lamely vyrábí jsou hliník, plast a pozinkovaný nebo nerezový

plech. Žebra jednotlivých stěn bývají od sebe vzdálená 2,5-12,5 mm. Deskové výměníky se rozlišují podle směru proudění. Nejpoužívanějšími jsou výměníky křížové a protiproudé. U křížových výměníků proudí čerstvý vzduch kolmo na odpadní zatím co u protiproudých jdou tyto proudy liniově proti sobě. Výhodou protiproudých výměníků je delší dráha pro tepelnou výměnu, proto mají i vyšší účinnost než výměníky křížové. Protiproudé výměníky dosahují až 95 % účinnosti, křížové mají účinnost okolo 80 % (Lain, 2006).

4.3.2 Rekuperační výměníky nepřímé

Tepelná výměna u nepřímých výměníků probíhá prostřednictvím tepelně vodivého média, které odebírá tepelnou energii odchozímu znehodnocenému vzduchu a následně získanou energii předává čerstvému příchozímu vzduchu. Podle přenosového média se nepřímé výměníky dělí na výměníky s kapalinovým okruhem a výměníky z tepelných trubic. Nepřímé výměníky z tepelných trubic se dále rozlišují na gravitační a kapilární (Lain, 2006).

5 Cíl práce

Hlavním cílem práce je návrh vzduchotechnického zařízení se zpětným získáváním tepla pro rodinný dům a následně zhodnocení a porovnání efektivnosti systému z hlediska energetického a ekonomického. Dalším cílem práce je zakreslení navrženého systému do půdorysu vybraného objektu. Cílem práce je provést měření koncentrace CO₂ v místnosti vybraného objektu.

6 Materiál a metody

Při návrhu systému řízeného větrání s rekuperací tepelné energie je potřeba zjistit potřebné množství vyměňovaného vzduchu v jednotlivých místnostech vybraného rodinného domu. Dále je nutné vybrat optimální rekuperační jednotku vyhovující pro vybraný objekt. Dalším krokem návrhu je zvolení materiálů pro rozvody vzduchu pro správný chod systému. V rámci vypracování návrhu je výkres systému do půdorysu vybraného rodinného domu. Výkres je uveden v příloze č. 4.

Energetická efektivnost je získána výpočtem pomocí denostupňové metody. Ekonomické zhodnocení je zpracováno na základě výpočtu tepelné ztráty větráním navrženého systému za topné období a výpočtu nákladů na provoz systému. Tyto ekonomické výsledky jsou následně porovnány s variantou bez využití rekuperace vzduchu.

6.1 Teorie návrhu

6.1.1 Návrh potřebného objemu výměny vzduchu

Podle normy ČSN 15665/Z1 je minimální hodnota průtoku venkovního vzduchu do obytných místností $15 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobu, doporučená hodnota je však $25 \text{ m}^3/\text{h}$. Norma také definuje intenzitu výměny vzduchu uváděnou na objem místnosti, kdy minimální výměna vzduchu je 0,3 objemu místnosti za hodinu a doporučená hodnota 0,5 – 0,7 výměny vzduchu za hodinu. Tyto údaje jsou určeny pro větrání v době, kdy je objekt obydlen.

6.1.2 Výběr jednotky

Při volbě řídicí jednotky je důležité vycházet z navržené intenzity výměny vzduchu, aby jednotka výkonnostně vyhovovala pro daný objekt. Dále je potřeba ověřit si vlastnosti a funkce, kterými jednotka disponuje, jako například protimrazová ochrana, by-pass, typ motorů nebo možnosti regulace.

6.1.3 Umístění jednotky

Při návrhu umístění jednotky je třeba zvolit takové místo, kde chod jednotky nebude akusticky narušovat komfort bydlení. Jednotka by zároveň neměla být umístěná na nezatepleném místě, aby nedocházelo ke snižování účinnosti rekuperace. Pro jednotku

je také potřeba zajistit odvod vzniklého kondenzátu a přívod elektřiny, popřípadě datového kabelu.

6.1.4 Volba rozvodů vzduchu

Rozvody vzduchu je potřeba zvolit tak, aby byly vždy dostatečně zaizolovány, aby nedocházelo ke vzniku kondenzace v potrubí a aby se přívodní a odváděný vzduch neochladil, popřípadě neohřál při jeho distribuci.

6.2 Teorie výpočtů

Ekonomické, respektive energetické zhodnocení patří ke každému technickému návrhu a je velmi podstatné pro investora. Důležitou informací, pro rozhodnutí o realizaci, je doba návratnosti investice nebo její ztrátovost.

6.2.1 Počáteční investice a roční náklady na provoz systému

Nejprve je potřeba zjistit počáteční investici navrženého systému i s montáží a regulací.

V dalším kroku pro zjištění výhodnosti investice je potřeba spočítat roční náklady na provoz zařízení. Roční náklady se spočítají podle vztahu:

$$C_R = C_e + C_s \quad (1)$$

Kde C_e je cena za roční spotřebovanou elektrickou energii a C_s cena za roční servis.

Dalším provozním nákladem je spotřeba elektrické energie na chod jednotky. Roční spotřeba elektřiny je závislá na velikosti objektu, počtu distribučních elementů, délce trasy rozvodů a dalších faktorech ovlivňující tlakové ztráty. Vliv na roční spotřebu má samozřejmě také výkon jednotky, který si uživatel volí sám podle potřeby, tudíž není stálý.

Cena za spotřebu elektřiny vychází ze vztahu:

$$C_e = P_j * n_h * n_d * C_{kWh} \quad (2)$$

Kde P_j je příkon jednotky [kWh], n_h počet hodin při daném příkonu za den, n_d počet dní při daném výkonu, C_{kWh} průměrná cena za kWh [Kč].

6.2.2 Výpočet tepelných ztrát

Pro určení doby návratnosti investice je potřeba spočítat tepelné ztráty větráním bez zpětného získávání tepla a porovnat je s náklady s použitím navrženého systému. Tepelné ztráty bez použití rekuperace, jsou počítány za předpokladu, že výměna vzduchu v interiéru bude stejná jako v návrhu, tedy podle normou doporučených hodnot.

K získání tepelných ztrát větráním je nejprve potřeba vyjádřit hodnoty průměrného výkonu zařízení a denostupňů.

6.2.2.1 Průměrný výkon jednotky:

$$Q_V = \frac{z_d * d_d * Q_{V1} + z_{vi1} * d_{vi} * Q_{V1} + z_{vi2} * d_{vi} * Q_{V2} + z_{vs1} * d_{vs} * Q_{V1} + z_{vs2} * d_{vs} * Q_{V2}}{365 * 24} \quad (3)$$

Kde Q_V je průměrná intenzita výměny vzduchu za rok [m^3/h], z_d počet hodin za den na dovolené, z_{vi1} počet hodin za den o víkendu strávených mimo objekt, z_{vi2} počet hodin za den o víkendu strávených v objektu, z_{vs1} počet hodin za všední den strávených mimo objekt, z_{vs2} počet hodin za všední den strávených v objektu, d_d počet dní strávených na dovolené, d_{vi} počet víkendových dnů, d_{vs} počet všedních dnů, Q_{V1} množství výměny vzduchu za nepřítomnosti uživatelů [m^3/h], Q_{V2} množství výměny vzduchu za přítomnosti uživatelů [m^3/h].

1.1.1.1 Denostupně

Hodnota denostupně vychází z rozdílu průměrných, denních, teplot vnitřních a venkovních. Další hodnota potřebná k získání denostupně je počet dní, ve kterých je daná průměrná venkovní teplota zaznamenána. Výpočet denostupně tedy získáme vztahem:

$$D = d * (t_{is} - t_{es}) \quad (4)$$

Kde D je hodnota denostupně [$d * K$], d počet topných dnů, t_{is} průměrná vnitřní teplota [$^{\circ}C$], t_{es} průměrná venkovní teplota [$^{\circ}C$]

1.1.1.2 Tepelné ztráty větráním za rok

Výslednou hodnotu tepelných ztrát, za topné období větráním bez rekuperace, získáme součtem všech jednotlivých tepelných ztrát za dny při stejné venkovní teplotě. Tyto energetické ztráty spočítáme podle vztahu:

$$Q_N = \frac{Q_V}{3600} * \rho * c * D * 24 \quad (5)$$

Kde Q_N je hodnota tepelné ztráty větráním bez rekuperace za dny se stejnou průměrnou venkovní hodnotou [Wh], ρ je hustota vzduchu při dané venkovní teplotě [kg/m^3], c měrná tepelná kapacita uvažována $1010 \text{ J}/\text{K} * \text{kg}$.

Roční tepelné ztráty větráním s rekuperací získáme stejným způsobem jako je předešlý, s dosažením účinnosti rekuperačního výměníku:

$$Q_R = \frac{Q_V}{3600} * \rho * c * D * 24 * (1 - \eta_R) \quad (6)$$

Kde Q_R je hodnota tepelné ztráty větráním s rekuperací za dny se stejnou průměrnou venkovní teplotou [Wh], η účinnost rekuperačního výměníku, uvažujeme 0,91.

6.2.3 Náklady na vytápění tepelné ztráty větráním

Po získání hodnot tepelných ztrát větráním, lze získat náklady na vytápění těchto ztrát.

Bez rekuperace:

$$N_N = \Sigma Q_N * C_{pp} \quad (7)$$

S rekuperací

$$N_R = \Sigma Q_R * C_{pp} \quad (8)$$

Kde C_{pp} je průměrná cena za 1kWh zemního plynu [Kč]

6.2.4 Doba návratnosti

Doba návratnosti charakterizuje ekonomickou efektivnost investice v dlouhodobém kontextu. Čím kratší je doba návratnosti, tím je investice pro pořizovatele výhodnější. V případě, že je doba návratnosti delší než životnost pořízeného zařízení, je investice z ekonomického hlediska neefektivní. U systému řízeného větrání s rekuperací však není doba návratnosti jediným faktorem určujícím výhodnost jeho pořízení pro uživatele.

Jelikož se jedná o modelový příklad návrhu není možné zcela přesně určit přesnou dobu návratnosti a pro výpočet je použita pouze tzv. prostá doba návratnosti. V tomto případě není do výpočtu zahrnuto diskontování, které by dobu návratnosti prodloužilo.

Výpočet prosté doby návratnosti:

$$TN_P = \frac{IN}{CF} \quad (9)$$

Kde: IN jsou počáteční náklady na investici, CF roční peněžní tok

Výpočet ročního peněžního toku:

$$CF = N_N - N_R - C_R \quad (10)$$

6.3 Měření

Měření bylo prováděno v nízkoenergetickém, rodinném domě v Praze na katastrálním území Uhřetěves. Tato stavba je postavena z cihel Porotherm a fasáda je zateplena polystyrenem. Objekt splňuje nízkoenergetický standard.

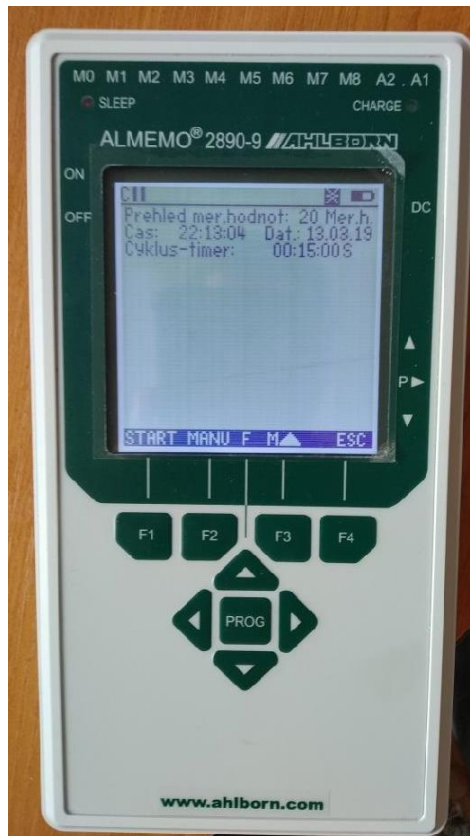
Měření probíhalo v manželské ložnici od 16 hodin do 12 hodin následujícího dne. Toto měření bylo provedeno dvakrát, jednou bez spuštění řízeného větrání a poté při konstantní výměně vzduchu v místnosti. Při chodu vzduchotechnického zařízení byl do vybrané místnosti přiváděn vzduch v množství 50 m³/h.

Měření byly zaznamenávány koncentrace CO₂ po jednotlivých hodinách.

Měřicí zařízení

Při měření byla použita spektrální sonda ALMEMO A600-CO₂ s rozsahem měření 0 – 2,5 % s rozlišením ±0,05. Tato sonda byla propojena s dataloggerem ALMEMO 2890-94S (obrázek č. 10) od firmy Ahlborn, Germany.

Obrázek 10 - Dataloger ALMEMO A600-CO₂



6.4 Popis vybraného objektu

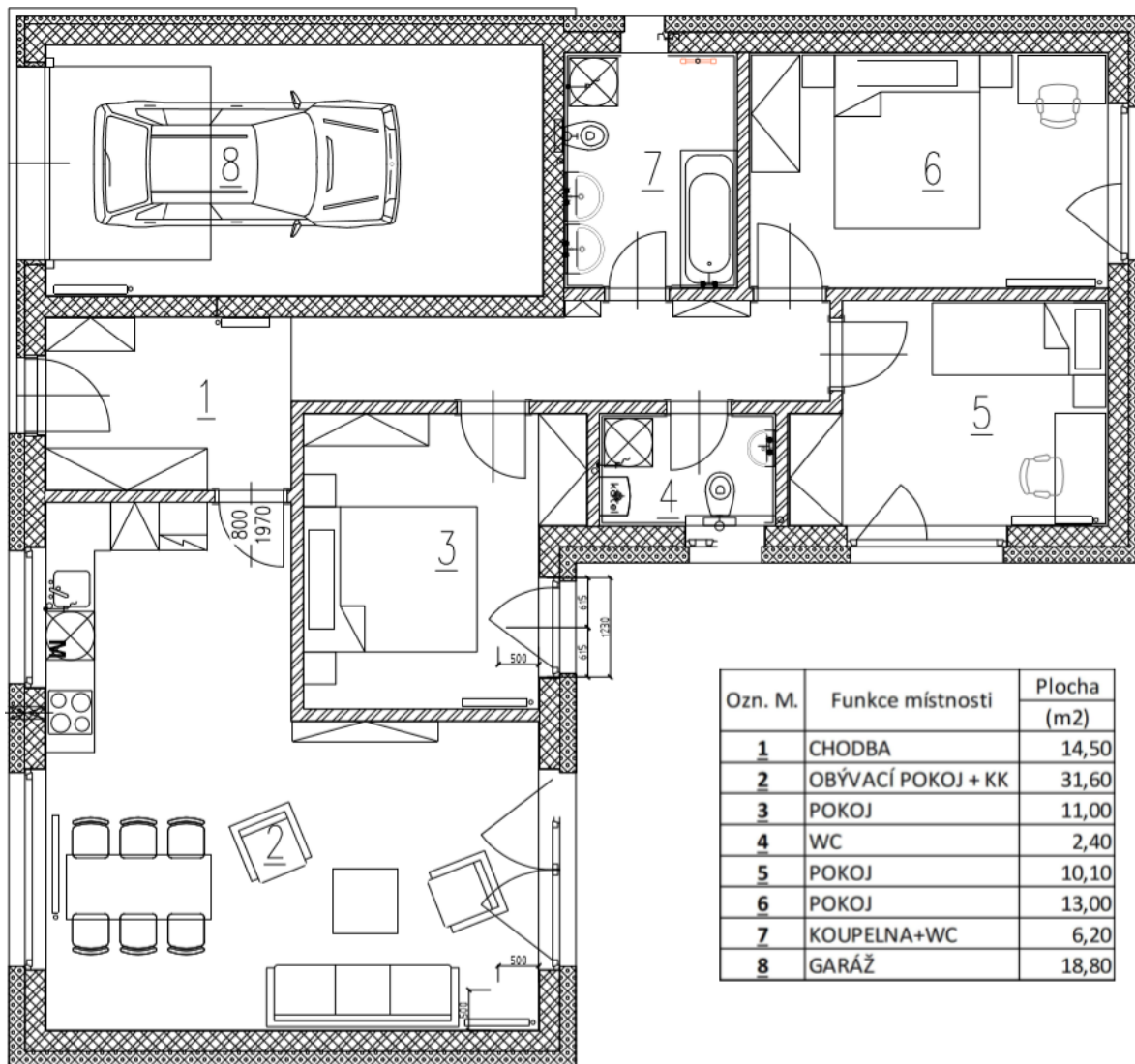
Vybraný objekt se nachází v Praze na katastrálním území Třeboradice. Jedná se o rodinný dům, stavěný v rámci developerského projektu. Zvolený rodinný dům je přízemní stavba bez podsklepení. Stavba je určena jako nízkoenergetická. Všechna okna budou zasklena trojsklem, rámy a křídla oken budou osazeny pozinkovanými ocelovými výztuhami. Podlahy a svislé obvodové stěny budou zatepleny polystyrenem a stropy minerální vatou 280 mm. Vzor vybraného objektu je zobrazen na obrázku č. 11.

Obrázek 11 - Vzorový dům developerského projektu v Třeboradicích



Vybraný rodinný dům se skládá z garáže, čtyř obytných pokojů, kuchyňského koutu, WC a koupelny. Dispozice rodinného domu je znázorněna na půdorysu, na obrázku č. 12.

Obrázek 12 - Půdorys vybraného rodinného domu



Ozn. M.	Funkce místnosti	Plocha (m ²)
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

7 Návrh řízeného větrání

7.1 Návrh objemu přiváděného vzduchu do obytných místností

Prívod vzduchu je navrhnout do všech obytných prostor, tedy do místností 5 a 6, které budou sloužit jako dětské pokoje a oba budou obývané jednou osobou, dále je prívod vzduchu navrhnutý do místnosti 3 (ložnice) a do obývacího pokoje. Navržené hodnoty byly určeny podle normy ČSN 15665/Z1-podle počtu osob obývajících určené místnosti (viz. tabulka č. 6), protože doporučené hodnoty podle objemu místnosti vycházejí v těchto případech méně.

Tabulka 6 - Navržený objemový tok přiváděného vzduchu do jednotlivých místností

Číslo místnosti	Funkce místnosti	Navržený objemový tok přiváděného vzduchu (m ³ /h)
2	obývací pokoj	100
3	ložnice	50
5	dětský pokoj	25
6	dětský pokoj	25
		Celkem 200

7.2 Návrh objemu odváděného vzduchu

ČSN EN 15665/Z1 uvádí doporučené hodnoty odvodu vzduchu z interiéru jen pro nárazové větrání, viz tabulka č. 5. V daném objektu však bude navrženo řízené větrání konstantní, proto můžeme zvolit hodnoty nižší, než jsou hodnoty pro větrání nárazové. Jelikož bude systém navrhnout v rovnotlaku, je potřeba navrhnout stejný objemový tok odsávaného vzduchu jako přiváděného. V níže uvedené tabulce, č. 7, jsou uvedeny navržené hodnoty pro odtah vzduchu z místností WC, kuchyňského koutu a koupelny.

Tabulka 7 - Navržený objemový tok odsávaného vzduchu z jednotlivých místností

Číslo místnosti	Funkce místnosti	Navržený objemový tok přiváděného vzduchu (m ³ /h)
2	kuchyňský kout	-70
4	WC	-60
7	koupelna	-70
		Celkem -200

7.3 Výběr rekuperační jednotky

Pro daný objekt byla navržena rekuperační jednotka VENTBOX 300 (obrázek č. 13) od firmy ThermWet. Jedná se o ryze českou firmu, která kromě výroby a vývoje rekuperačních jednotek zajišťuje projekci a montáž vzduchotechniky. Jednotka VENTBOX 300 má maximální výkon 300 m³/h a použití jednotky je doporučeno pro výměry do 200 m². Tyto hodnoty splňují nároky na větrání ve vybraném objektu.

Obrázek 13 - VENTBOX 300



Zdroj: (ThermWet, 2009)

7.3.1 Konstrukce jednotky

Rozměry jednotky jsou 803x742x586 mm a váží 28 kg. Vnější plášť jednotky se skládá s lakovaných hliníkových plechů a vnitřní konstrukce je z vysoce extrudovaného polystyrenu o minimální tloušťce 40 mm. Takto řešená konstrukce zajišťuje nízké tepelné ztráty a eliminuje vznik tepelných mostů. V horní části jednotky jsou umístěny hrdla pro napojení. Ve spodní části jednotky je vyústění pro odvod kondenzátu a kabel pro elektrické připojení.

7.3.2 Výměník

V jednotce VENTBOX 300 je protiproudý kanálový výměník z houževnatého polystyrénu. Zaručená minimální účinnost výměníku je 85 %, ale při sníženém výkonu

jednotky dosahuje účinnosti až 93 %. Výměník je neprodyšný, tudíž nepředává vlhkost ani zápach.

7.3.3 Ventilátory

Jednotka VENTBOX 300 je vybavena dvěma ventilátory, pro sání a výtlak vzduchu. Jedná se o vertikální ventilátory s EC motorem (elektricky komutované), které umožňují jednodušší regulaci, jsou úsporné a šetrné k životnímu prostředí. EC motory jsou synchronní elektromotory, které pracují bez skluzu, tudíž nedochází k vytváření ztrátového výkonu. Výhodou ventilátorů s tímto typem motoru je možnost citlivé regulace průtoku vzduchu v rozmezí 0–100 % svého výkonu, naopak od frekvenčních měničů, které jsou při regulaci omezeny na 40–100 %. EC motory mají poměrně nízkou hlučnost, proto je vhodné je využít v jednotkách pro rodinné domy. Další výhodou těchto motorů je nižší teplota ve vinutí, díky které zaznamenávají delší životnost.

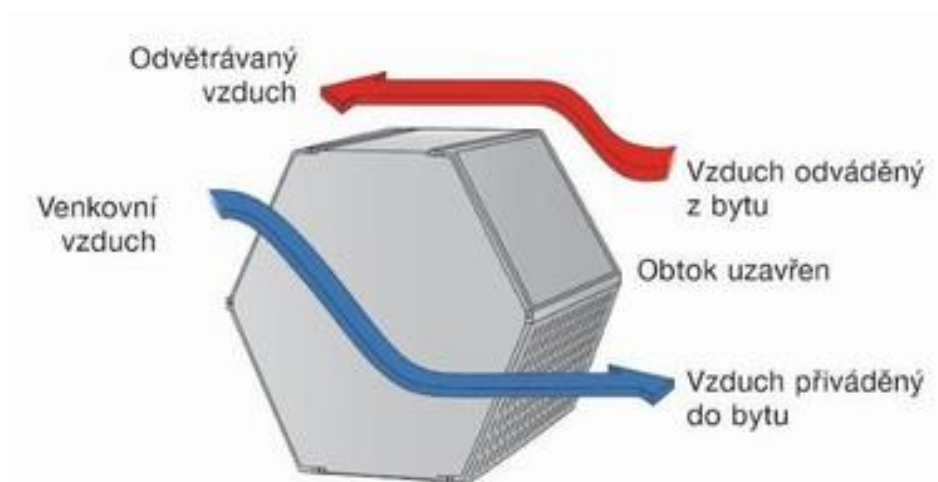
7.3.4 Protimrazová ochrana

V našich klimatických podmínkách je nutné zaopatřit jednotku ochranou proti zamrznutí výměníku. V těchto případech zamrzá kondenzát vzniklý v odtahových kanálcích výměníku, čímž je částečně ucpe, tudíž téměř nedochází k rekuperaci tepelné energie. Tato situace v praxi znamená, že je do interiéru distribuován velmi studený vzduch. V jednotce VENTBOX 300 je, v rámci základního vybavení, instalován elektrický přehřev pro přiváděný vzduch z exteriéru. Tento ochranný prvek je umístěn před výměníkem, tudíž se do výměníku dostává venkovní vzduch již přehřátý. Přehřev se spouští při venkovní teplotě 4 °C a nezamrznutí výměníku firma ThermWet zaručuje i při –20 °C. Maximální výkon přehřívacího prvku je 1500 W. Příkon ohříváče je pomocí autoregulační funkce regulován dle potřeby a teploty.

7.3.5 Letní obtok výměníku (by-pass)

Pro letní období je rekuperační jednotka vybavena funkcí by-pass. Jedná se o automaticky řízený obtok výměníku, který odvrátí trasu odsávaného vzduchu mimo výměník, viz obrázek č. 14. By-pass zabráňuje tepelné výměně neboli ohřívání teplého exteriérového vzduchu ještě teplejším vzduchem z interiéru. V případě, že uživatel dokáže udržet chladnější teplotu vnitřního prostředí, než je teplota okolní, je obtok uzavřen a odpadní vzduch ochlazuje vzduch přivodní. Ovládání by-passu je automatické a nastavené tak, aby teplota vnitřního prostředí byla co nejvíce uživatelsky komfortní.

Obrázek 14 - Obtok výměníku



Zdroj: (Zehnder Group Czech Republic s.r.o., 2013)

7.3.6 Filtrace

Navržená jednotka disponuje třemi filtračními prvky: pro přívod, odtah a by-pass. Jedná se o panelové, skládané filtry třídy M5 (pro vyšší nároky na vnitřní prostředí). Skládané provedení zvětšuje filtrační plochu, čímž je filtrace zkvalitněna. Filtry M5 lze také doplnit o filtry s aktivním uhlím tzv. carbo filtry, které odstraňují zápach. V náročnějších podmínkách je možné umístění filtru G4 (nižší filtrační třída) před filtr M5 jako předfiltr. Filtrační médium G4 tedy zachytí hrubé nečistoty a není tím znehodnocován filtr M5. Při potřebě vyšší filtrace je možné použít filtry třídy F7. Výměnu filtračních prvků pro přívod a odtah je, od výrobců jednotky VENTBOX 300, doporučeno provádět dvakrát za rok, filtr pro by-pass jen jednou ročně. Tato informace je však pouze obrazná, optimální doba výměny je různá, jelikož je závislá na kvalitě vnějšího prostředí.

7.3.7 Webové rozhraní

Vybraná jednotka je opatřena integrovaným řízením přes webové rozhraní, které umožňuje nastavování výkonu jednotky podle jednotlivých hodin a dní v týdnu. Z počítače nebo chytrého telefonu lze dopředu nastavit nižší výkon jednotky v době, kdy se v domě nikdo nenachází a zvýšení výkonu při příchodu do objektu. Program také uživateli umožňuje náhled na aktuální i celkovou spotřebu elektrické energie a hlídá doporučenou dobu výměny filtrů (podle motohodin). Velký význam webového rozhraní spočívá také ve vzdáleném přístupu pro servis. Servisní technik se může z jednoho místa

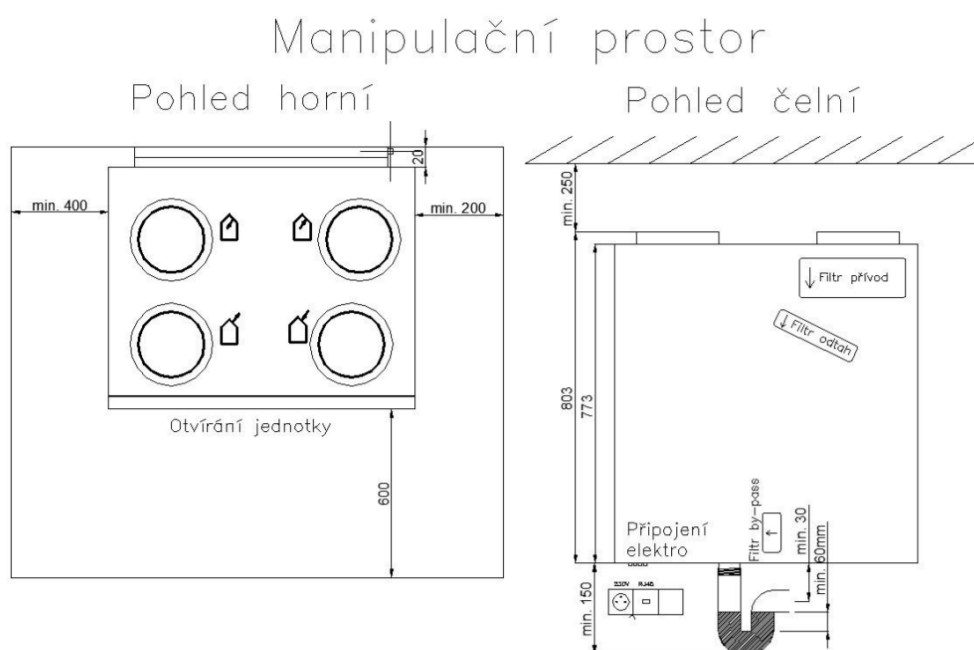
připojit k jakékoliv jednotce a v některých případech jednotku servisovat na dálku, popřípadě odhalit příčinu poruchy.

7.4 Návrh umístění jednotky

Uvedený objekt nedisponuje, technickou místností, proto bylo umístění jednotky navrženo do garáže. Obvodové zdivo v garáži bude zateplené a v zimním období bude prostor mírně vytápěný, tudíž by zde neměla teplota klesnout pod 15 °C. Vnitřní teplota garáže nebude mít výrazný vliv na funkci nebo účinnost jednotky.

Vybranou jednotku je třeba umístit na stěnu na závěsné liště. Minimální vzdálenost od podlahy je 150 mm kvůli napojení sifonu, který odvádí vzniklý kondenzát do odpadu. Jednotka však musí být také umístěna minimálně 300 mm pod stropem, kvůli napojení rozvodů do jednotky. Dále je důležité, aby byl zachován prostor pro přístup k elektronice, která se nachází na levé straně, alespoň 400 mm. Minimální vzdálenosti pro umístění jednotky jsou uvedeny na níže uvedeném obrázku, č. 15.

Obrázek 15 - Znázornění požadovaných minimálních vzdáleností při instalaci jednotky



7.5 Návrh rozvodů vedení vzduchu

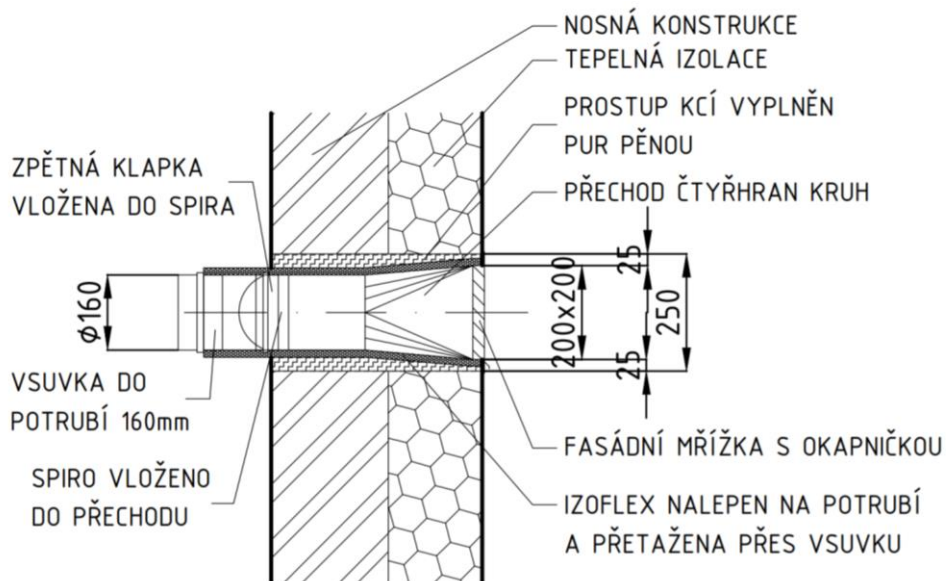
7.5.1 Rozvody vzduchu pro exteriérový přívod a odtah

Přívod vzduchu z exteriéru má v zimních měsících výrazně nižší teplotu než teplota v místnosti, kde je umístěna jednotka. Podobně tomu je i u odváděného vzduchu, který již odevzdal svou tepelnou energii ve výměníku a proudí ven z objektu. V těchto případech, kdy je výrazná teplotní diference mezi vzduchem v potrubí a okolním prostředím, je vysoké riziko vzniku kondenzátu. Eliminovat tento nežádoucí jev lze dostatečnou izolací, proto je pro exteriérové rozvody navrhována tepelně izolovaná, flexibilní hadice, viz. obrázek č. 4. Navržený vzduchovod je tepelně, ale i zvukově izolován 50 mm vrstvou minerální vaty. Dalším důvodem pro zvolení tohoto typu vzduchovodu pro exteriérové rozvody je jeho flexibilita. V prostoru, kde se jednotka nachází, tedy v garáži, je snaha o co nejsnadnější a nejkratší trasu vzduchovodu, což je díky vysoké flexibilitě navrženého rozvodu možné realizovat. Čím je trasa přívodního potrubí do jednotky kratší, tím menší jsou tlakové ztráty, které se následně projevují na spotřebě elektřiny. Průměr navržené izolované hadice je 160 mm, stejně jako je průměr hrdel na jednotce, tudíž není za potřebí redukce při napojování.

7.5.2 Exteriérové propojení

Napojení na exteriér je navrženo přes obvodovou zeď v garáži prostupem na fasádu viz. obrázek č. 16. Přívod a odvod vzduchu přes obvodovou zeď je veden v pozinkovaném, plechovém potrubí Spiro, kruhového průřezu o průměru 200 mm. Spiro potrubí je doizolováno kaučukovou izolací, díky které je eliminována kondenzace. Izolovaná, flexibilní hadice je v místě napojení na plechové potrubí osazena redukcí ze 160 na 200 mm. Na fasádě je plechové potrubí vyústěné čtvercovou mřížkou s okapničkou. Odtahová a přívodní fasádní mřížka je navržena minimálně 1,5 m od sebe, aby nedocházelo k nasávání odvedeného, znehodnoceného vzduchu proudícího z odtahové mřížky.

Obrázek 16 - Detail propojení na exteriér



7.5.3 Rozvody mezi řídicí jednotkou a rozvodnými boxy

Rozvodný box je prvek, do kterého je přiváděn vzduch jedním vzduchovodem a při průchodu tímto prvkem je objemový tok vzduchu rozdělen do více vyústění, viz. obrázek č. 17. Počet výstupů z rozvodného boxu je různý, na trhu jsou k dispozici rozvodné boxy se dvěma, třemi, šesti, osmi, deseti a více výstupy. Rozvodný box je navržený i pro odtažení vzduchu z interiéru. Zde je funkce rozvodného boxu opačná, protože odsávaný vzduch proniká do rozdělovacího elementu více vstupy a vychází jedním potrubím do jednotky.

Obrázek 17 - Rozvodný box s šesti výstupy



Zdroj: (KONEKT, 2014)

Rozvody přírodního vzduchu do rozvodného boxu a odsávaného vzduchu z rozvodného boxu jsou navrženy také v tepelně izolované hadici. V tomto případě, ale již jen s izolační vatou o tloušťce 25 mm, protože těmito trasami proudí vzduch s relativně vysokou teplotou a riziko kondenzace je tedy nižší. Rozvod vzduchu je zvolen, protože trasa je vedena v garáži, kde v zimním období bude nižší teplota než v interiéru, tudíž je tímto tepelně izolovaným rozvodem předcházeno tepelným ztrátám, přírodního nebo odsávaného vzduchu.

Rozvod pro přívod vzduchu vede do tlumiče zvuku a následně do rozvodného boxu, který disponuje šesti výstupy, ze kterých je vzduch rozváděn do jednotlivých místností. Vstupy do tlumiče i rozvodného boxu mají stejný průměr jako vzduchovod. Odváděný vzduch z interiéru je veden do rozvodného boxu se třemi vstupy, ze kterého je následně odváděn jedním výstupem. Výstup z rozvodného boxu se třemi vstupy je na trhu pouze o průměru 125 mm, tudíž je zde navržena redukce ze 125 mm na 160 mm, aby mohl být vzduch dále odveden navrženým potrubím.

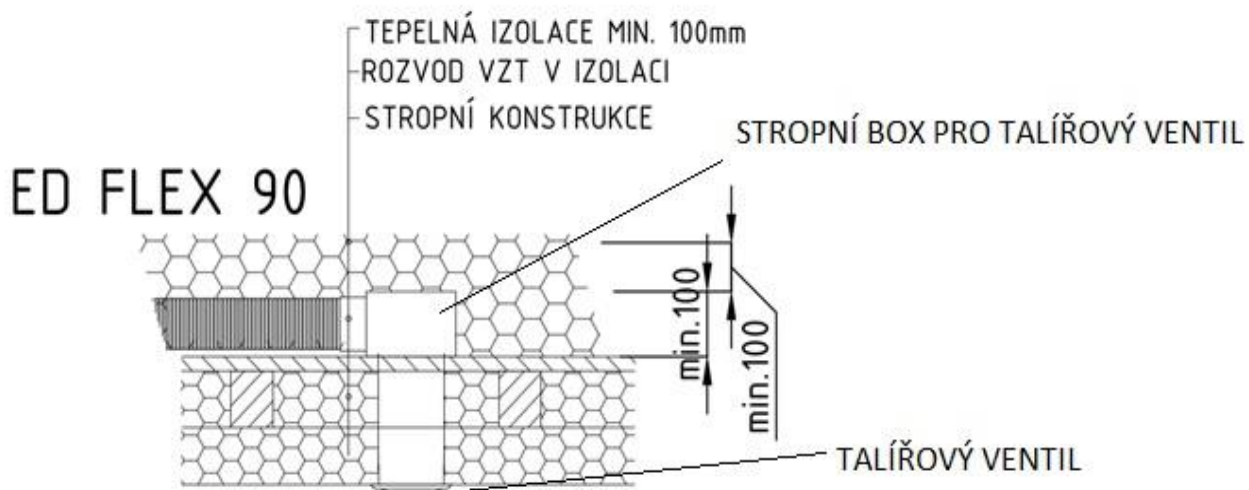
7.5.4 Interiérové rozvody

Jelikož je daný objekt jednopatrový dům, je vedení interiérového vzduchu navrženo ve stropní izolaci, která je zakryta sádrokartonovým podhledem. Koncové elementy potrubí tedy budou procházet skrz sádrokartonový strop.

Pro distribuci vzduchu do jednotlivých místností je navrženo plastové, flexibilní potrubí ED Flex o průměru 90 mm. Hlavním důvodem zvolení tohoto vzduchovodu je možnost tzv. hvězdicového rozvodu. Způsob hvězdicového rozvodu spočívá v tom, že každý koncový element má svůj vzduchovod, který vede až do rozvodného boxu. Jiné typy vzduchotechnického potrubí se instalují větveným způsobem, což znamená, že se potrubí větví z hlavního na vedlejší, tudíž jsou jednotlivé místnosti propojeny. Větvený rozvod tedy umožňuje akustický přeslech mezi jednotlivými místnostmi, což má negativní vliv na komfort bydlení. Právě přenosu zvuku mezi obývanými prostory je zabráněno hvězdicovým rozvodem. Další výhodou navrženého způsobu rozvodu je snadný přístup k jednotlivým potrubím, díky kterému je lze efektivně čistit. Tento přístup je umožněn z rozvodného boxu po vyjmutí jeho spodní stěny. Plastové potrubí ED Flex není samo o sobě tepelně izolováno, to ale není potřeba, protože vychází z rozvodného boxu v garáži přímo do stropní izolace, která musí být alespoň 100 mm široká, aby bylo potrubí dostatečně zaizolováno, viz obrázek č. 18. Z rozvodného boxu

vede trasa potrubí prostupem přes zeď nad prostor chodby, odkud je potrubí individuálně vedeno ke svým distribučním elementům, tak jak je navrženo ve výkresu.

Obrázek 18 - Detail vedení rozvodů



Nad místem, které je určené pro distribuci vzduchu je plastové, flexibilní potrubí vsunuto do stropního boxu, znázorněného na obrázku č. 19. Jako koncové elementy, byly pro vybraný objekt, navrhnuté talířové ventily, viz obrázek č. 20. Tento typ distribučních elementů umožňuje regulování celého systému, tak aby v přívodech a odtazích v jednotlivých místnostech proudil vzduch podle návrhu. Regulace talířovým ventilem spočívá v otáčení vnitřního disku, který se pohybuje po závitě a zvětšuje či zmenšuje otvor pro proudící vzduch.

Obrázek 19 - Stropní box



Zdroj: (MATEICIUC, 2019)

Obrázek 20 - Taliřový distribuční element



Zdroj: (Vít a spol. s.r.o., 2017)

7.6 Navržení regulačního příslušenství

Kvůli zvyšování koncentrace oxidu uhličitého, relativní vlhkosti a kontaminace vzduchu kouřem a různými aromatickými uhlovodíky v objektu, jsou zde navrženy prvky pro zvýšení výkonu jednotky. Dočasným zvýšením výkonu se koncentrace nežádoucích plynných látek snižuje.

Do ložnice a dvou dětských pokojů, tedy do místností číslo 3,5 a 6 jsou navrženy čidla pro detekci oxidu uhličitého. Tato čidla jsou umístěna ve výšce úrovně vypínačů, aby snímaly koncentraci CO₂ přibližně ve výšce, kde je vzduch dostupný pro uživatele. Dále je navržena instalace čidel snímajících relativní vlhkost, které jsou umístěny na WC a v koupelně, tedy v místnostech 4 a 7. Vlhkostní čidla se umísťují přibližně 10 cm pod stropem, kde snímají stoupající, teplý, vlhký vzduch.

Do místnosti číslo 2, která bude sloužit jako obývací pokoj s kuchyňským koutem, je navrženo čidlo SQA. Toto čidlo indikuje škodliviny, jakými jsou oxid uhelnatý, tabákový kouř, metan, benzol, plyny uvolňující se z rozpouštědel atd. Umístění čidla je navrženo do úrovně výšky vypínačů.

Do koupelny je také navržena instalace tlačítka intenzivního odtahu. Spuštěním tlačítka se zvýší výkon jednotky až na 100 %. Tlačítko intenzivního odtahu je zde jen jako alternativní varianta pro uživatele při poruše čidla vlhkosti.

Výše zmíněná čidla upravují výkon jednotky plynule, což znamená, že se výkon zvýší přesně o tolik, kolik je potřeba ke snížení koncentrace škodlivin na danou hranici. Tlačítko intenzivního odtahu zvýší výkon jednotky na úroveň předem nastavenou v systému jednotky a zvýšení výkonu trvá do vypnutí tlačítka.

8 Výsledky

8.1 Počáteční náklady

Položkový rozpočet na navržený systém, viz příloha č. 1, byl vypracován podle cen společnosti ThermWet. V rozpočtu jsou uvedeny ceny za materiál, práci a regulaci systému.

Náklady na navržený systém činí: **136 936 Kč** s DPH.

8.2 Servisní náklady

Do nákladů na provoz navrženého zařízení je potřeba započítat pravidelnou výměnu filtrů, kterou předejdeme vzniku poruch. Roční filtrační sada pro jednotku VENTBOX 300 vychází na 1990 Kč bez DPH za předpokladu, že se filtry vyměňují podle doporučení výrobce jednotky. Roční náklady na filtry neboli náklady na servis, tedy vycházejí na 2408 Kč s DPH.

$$C_s = 2408 \text{ Kč}$$

8.3 Náklady na spotřebu elektrické energie

V tabulce č. 8 jsou, podle výrobce jednotky, uvedeny hodnoty příkonu pro navrženou jednotku v daném objektu, které jsou použity pro výpočet roční spotřeby elektřiny.

Tabulka 8 - Příkony jednotky při rozdílných výkonech

Výkon jednotky	Příkon jednotky
300 m ³ /h	157 W
200 m ³ /h	80 W
60 m ³ /h	25 W

K výpočtu spotřeby elektrické energie je také potřeba navrhnout kolik času bude jednotka pracovat ve zvolených výkonech, viz tabulka č. 9. Navržený objem výměny vzduchu je 200 m³/h. Tato hodnota je však navržena pro dobu pobytu uživatelů v objektu. Po dobu nepřítomnosti obyvatel v domě je ve výpočtu navržena hodnota výkonu jednotky 60 m³/h.

Tabulka 9 – Počty provozních hodin jednotky v jednotlivých dnech v roce

	Všední dny	Víkendy	Dovolená
Počet dní	241	96	28
Počet hodin s výkonem 200 m ³ /h	14	19	0
Počet hodin s výkonem 60 m ³ /h	10	5	24

Do výpočtu spotřeby elektrické energie se také musí zahrnout spotřeba přehřevu vzduchu, který běží pouze v zimních měsících. Roční náklady na přehřev jsou podle výrobce u navržené jednotky 400 Kč za rok.

$$C_{Př} = 400 \text{ Kč}$$

Ve výpočtech je uvedena cena za kWh 4,1 Kč, což je průměrná cena za elektrickou energii pro rok 2018.

$$C_{kWh} = 4,1 \text{ Kč}$$

Spotřebovanou elektrickou energii při různých výkonech jednotky spočítáme podle vztahu (2):

Ve všední dny za přítomnosti obyvatel v objektu:

$$C_{e1} = 0,08 * 14 * 241 * 4,1$$

$$C_{e1} = 1106,7 \text{ Kč}$$

Ve všední dny za nepřítomnosti obyvatel v objektu:

$$C_{e2} = 0,025 * 10 * 241 * 4,1$$

$$C_{e2} = 247 \text{ Kč}$$

O víkendech za přítomnosti obyvatel v objektu:

$$C_{e3} = 0,08 * 19 * 96 * 4,1$$

$$C_{e3} = 598,3 \text{ Kč}$$

O víkendech za nepřítomnosti obyvatel v objektu:

$$C_{e4} = 0,025 * 5 * 96 * 4,1$$

$$C_{e4} = 49,2 \text{ Kč}$$

Za nepřítomnosti obyvatel v objektu o dovolených:

$$C_{e5} = 0,025 * 24 * 28 * 4,1$$

$$C_{e5} = 71,8 \text{ Kč}$$

Výsledná cena spotřeby elektrické energie navrženou rekuperační jednotkou za rok:

$$C_{eV} = C_{e1} + C_{e2} + C_{e3} + C_{e4} + C_{e5} + C_{Př}$$

$$C_{eV} = 2473 \text{ Kč}$$

Výsledná roční spotřeba elektrické energie podle vztahu (1) vychází:

$$C_R = 2408 + 2473$$

$$C_R = 4881 \text{ Kč}$$

8.4 Výpočet a porovnání tepelných ztrát

8.4.1 Průměrná denní výměna vzduchu

Podle vztahu (3) je spočítána průměrná denní výměna vzduchu, která nám umožní spočítat tepelné ztráty v topném období. Použité hodnoty jsou získány z tabulky č. 9.

$$Q_V = \frac{24 \cdot 28 \cdot 60 + 5 \cdot 96 \cdot 60 + 19 \cdot 96 \cdot 200 + 10 \cdot 241 \cdot 60 + 14 \cdot 241 \cdot 200}{24 \cdot 365}$$

$$Q_V = 143 \text{ m}^3/\text{h}$$

8.4.2 Denostupně

K výpočtu denostupňů byla použita tabulka z ČSN 73 0540-3, uvedená v příloze č. 2., která obsahuje údaje o průměrných venkovních teplotách a kolik dnů tyto teploty trvají. Denostupně jsou spočítané jen pro topné období, pro které byla zvolena hranice venkovní teploty 13 °C. Jako průměrná vnitřní teplota byla zvolena hodnota 20°C. Výsledné hodnoty denostupňů vypočítané podle vztahu (4) jsou uvedeny v příloze č. 3.

8.4.3 Výpočet tepelných ztrát větráním

Jednotlivé dílčí tepelné ztráty větrání bez rekuperace Q_N a s rekuperací Q_R byly získány podle vztahů (5) a (6) a jsou uvedeny v tabulce č. 12. Součtem těchto dílčích ztrát vyšla celková tepelná ztráta větráním bez rekuperace $\Sigma Q_N = 5,174 \text{ MWh}$ a s rekuperací $\Sigma Q_R = 0,466 \text{ MWh}$.

Při vyjádření nákladů způsobených tepelnou ztrátou větrání, je uvažováno, že se v objektu bude vytápět zemním plynem. Pro výpočet nákladů za vytápění je uvažována cena za 1 kWh zemního plynu 1,46 Kč, což odpovídá průměrné hodnotě.

$$C_{pp} = 1,46 \text{ Kč}$$

8.4.4 Náklady způsobené tepelnými ztrátami

Tepelná ztráta větráním bez rekuperace v topném období se projeví náklady na vytápění, které se vyjádří vztahem (7):

$$N_N = 5174 \cdot 1,46$$

$$N_N = 7554 \text{ Kč}$$

Roční náklady způsobené tepelnou ztrátou větráním s rekuperací se vyjádří podle vztahu (8):

$$N_R = 465,6 * 1,46$$

$$N_R = 680 \text{ Kč}$$

8.5 Výpočet doby návratnosti

Pro výpočet prosté doby návratnosti je nejprve potřeba vyjádřit peněžní tok za rok podle vztahu (10):

$$CF = 7554 - 680 - 4881$$

$$CF = 1993 \text{ Kč}$$

Výpočet prosté doby návratnosti podle vztahu (9):

$$TN_P = \frac{136936}{1993}$$

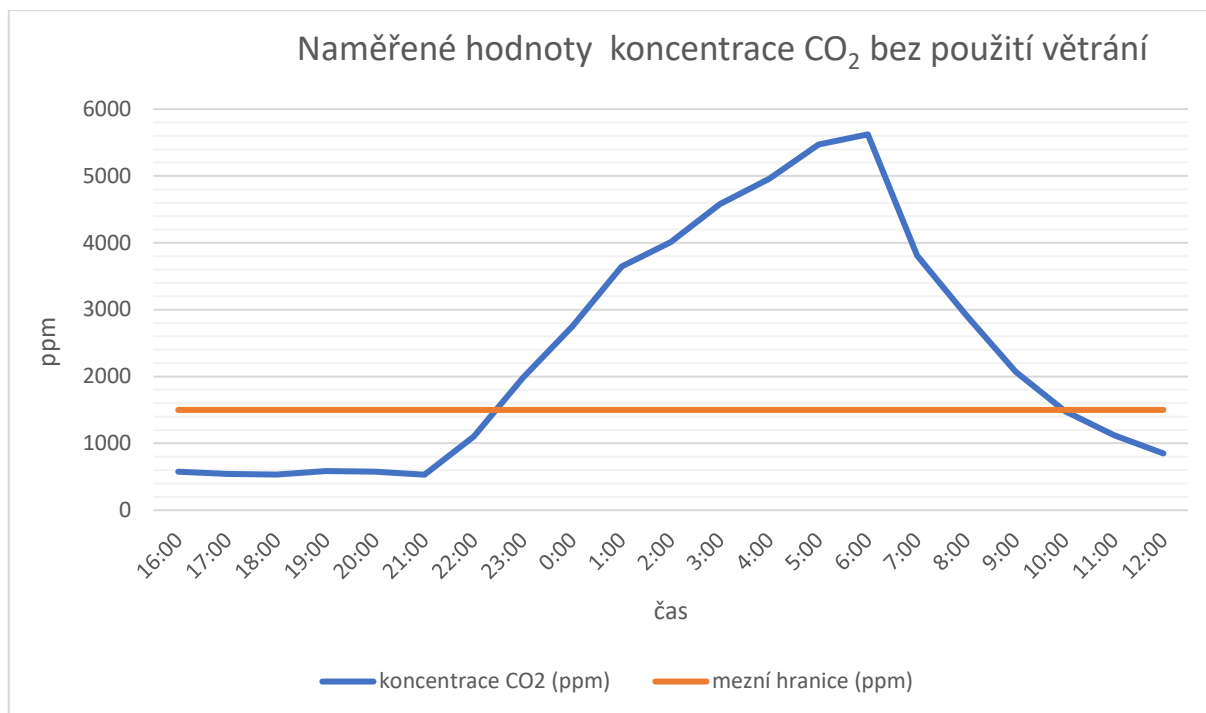
$$TN_P = 68,7 \text{ let}$$

8.6 Výsledky měření

V grafu č. 4 jsou zaznamenány hodnoty koncentrací oxidu uhličitého bez spuštění větracího zařízení. Ve vybrané místnosti spali dva uživatelé, kteří zde byli přítomni přibližně od 22:00 do 7:00. Z grafu je patrné, že maximální doporučená koncentrace CO₂ byla během měření výrazně překročena. Po šesté hodině ranní bylo v místnosti otevřeno okno, což postupně koncentraci CO₂ značně snížilo. Při měření bez větrání daného prostoru byly naměřeny tyto hodnoty:

- Minimální hodnota- 533 ppm
- Maximální hodnota- 5622 ppm
- Střední hodnota- 2368 ppm

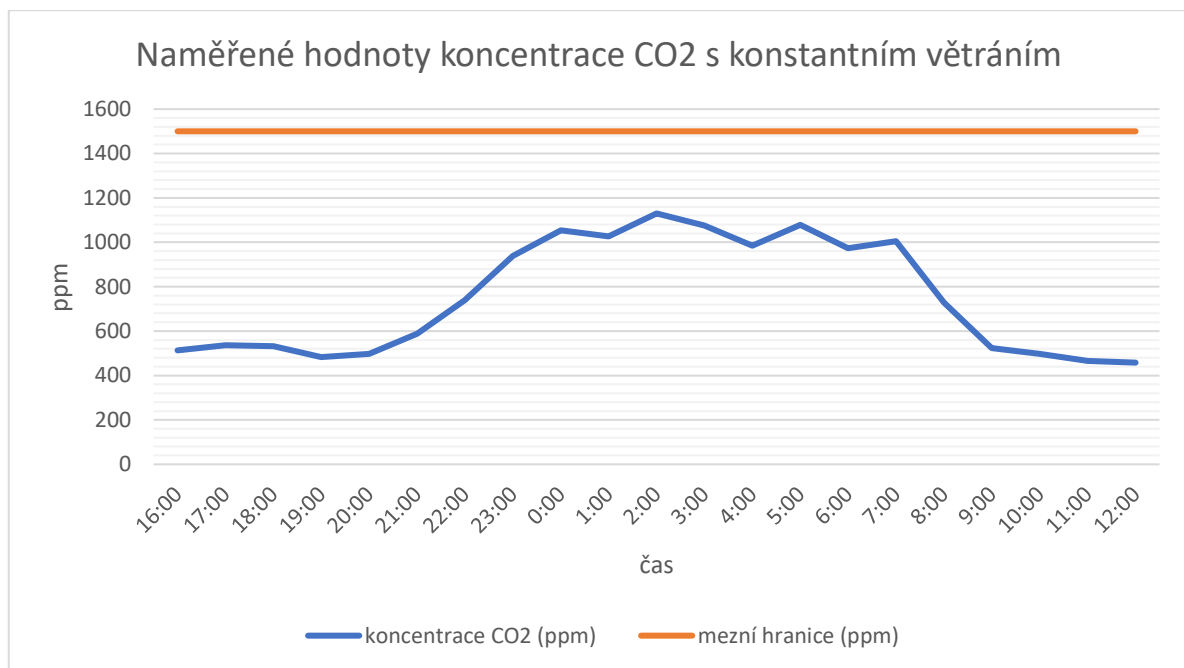
Graf 4 - Naměřené hodnoty bez větrání



Při měření se zapnutým vzduchotechnickým zařízením byli uživatelé v místnosti přítomni přibližně ve stejný čas jako v předchozím případě. Z grafu č. 5 vyplývá, že koncentrace CO₂ po celou noc nepřekročila doporučenou mezní hodnotu a držela se okolo 1000 ppm. Za nepřítomnosti uživatelů se ve vybrané místnosti hodnota koncentrace oxidu uhličitého pohybovala okolo 500 ppm. Měřením s konstantní výměnou vzduchu byly naměřeny tyto hodnoty:

- Minimální hodnota- 458 ppm
- Maximální hodnota- 1130 ppm
- Střední hodnota- 754 ppm

Graf 5 - Naměřené hodnoty s konstantním větráním



9 Závěr a diskuze

Řešení kvality vnitřního prostředí má v dnešní době stále větší význam. Podle zákona se v České republice již nesmí stavět domy, které by měly větší spotřebu tepla, než je definováno u nízkoenergetických domů. U těchto novostaveb je téměř nemožné udržet konstantní, potřebnou kvalitu vnitřního prostředí přirozeným větráním. Z tohoto důvodu je důležité si uvědomit, že u nových staveb je potřeba řešit řízenou výměnu vzduchu. Tato starost pro výraznou část populace není vnímána jako podstatná, protože pravidelnou výměnu vzduchu ve stávajících objektech zatím nemuseli řešit. Když pak někteří lidé realizují nový rodinný dům, řízené větrání považují za zbytečnou investici.

Cílem této práce bylo seznámit čtenáře s problematikou a významem vnitřního prostředí. V praktické části bylo navrženo řízené větrání se zpětným získáváním tepelné energie. Systém byl navrhován tak, aby jeho provozem byly splněny požadavky na kvalitu vnitřního prostředí. Volbou materiálů bylo zařízení navrhováno pro dlouhodobou funkčnost. Další parametr návrhu byl maximální komfort uživatelů, který spočívá v automatizaci a vzdálenému přístupu k systému. V další části práce bylo spočítáno energetické a ekonomické zhodnocení navrženého systému.

Výsledky ukazují, že rozdíl tepelných ztrát větráním bez rekuperace a s rekuperací, za předpokladu stejného množství vyměněného vzduchu, je podstatný. Tepelná ztráta větráním se zpětným získáváním tepla je o 4,7 MWh za rok nižší než u větrání bez rekuperace tepla. Následně byly vyjádřeny náklady na vytápění tepelné ztráty větráním pro obě varianty. Při započítání nákladů na chod systému ušetří navržená investice 1993 Kč. Doba návratnosti investice vyšla na 68,7 let. Program Ministerstva životního prostředí však nabízí, v rámci programu Nová zelená úsporám, využití dotace na systémy řízeného větrání s rekuperací. Po splnění daných podmínek má investor nárok na dotaci ve výši 50 % celkové počáteční ceny systému. Počáteční cena ale nesmí přesáhnout hranici 200 000 Kč. Při využití této dotace bude návratnost navrženého systému přibližně 34 let.

Je zřejmé, že z ekonomického hlediska není investice příliš perspektivní. Primární význam řízeného větrání s rekuperací ale není ve finančních úsporách. Hlavním významem řízené výměny vzduchu je udržení dostatečné kvality vnitřního prostředí, díky kterému se eliminuje celá řada rizik způsobující různé nemoci a zvyšuje se komfort bydlení.

Důležitost výměny interiérového vzduchu potvrzuje i prováděné měření koncentrace oxidu uhličitého. Při měření bez větrání byla zaznamenána koncentrace CO₂ téměř čtyřikrát vyšší, než je doporučená mezní hodnota. Při takto zvýšené koncentraci CO₂ je značně omezen uživatelský komfort, který se může projevovat bolestmi hlavy, nevolnostmi, nekvalitním spánkem a dalšími příznaky. Zatím co měření se spuštěným konstantním větráním prokázalo koncentrace CO₂ výrazně pod mezní hranicí. Díky výměně vzduchu v obývané místnosti se držela koncentrace oxidu uhličitého v doporučených mezích.

Ze zákona bude muset být, každá obytná novostavba realizovaná v roce 2020, opatřená řízeným větráním. Investor tedy řízené větrání bude muset pořizovat, je ale důležitá správná volba systému a jeho instalace, protože špatný návrh nebo realizace může vést k nedostatečnému efektu.

10 Seznam použité literatury

- American Bohemian Corporation s.r.o. 2015.** American Bohemian Corporation. *Větrání*. [Online] 2015. <https://www.abcweb.cz/rekuperace>.
- Atrea. 2014.** Atrea. *Filtrace vzduchu*. [Online] 2014. <http://www.atrea.cz/cz/filtrace-vzduchu>.
- Beranovský, J. 2011.** Portál pro stavebnictví a technická zařízení budov. *Ekonomika řízeného větrání s rekuperací tepla*. [Online] 04 2011. <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/7384-lokalni-ci-centralni-rekuperace-tepla-v-panelovem-dome>.
- Czech Pan. 2013.** Czech Pan. *Vzorový dům*. [Online] 2013. <http://www.czechpan.cz/cz/>.
- Doležilková, Hana. 2006.** tzbinfo. *Bytové větrání ve vztahu k produkci CO₂, vlhkosti a škodlivin (II)*. [Online] 2006. <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitni-prostredi/3042-bytove-vetrani-ve-vztahu-k-produkci-co2-vlhkosti-a-skodlivin-ii>.
- Drápalová, Jana. 2006.** *Regenerace panelových domů*. Brno : Era, 2006. 80-7366-054-7.
- ELEKTRODESIGN ventilátory spol. s r.o. 2009.** Portál pro stavebnictví a technická zařízení budov. *Rekonstrukce větracích systémů bytových domů*. [Online] 10 2009.
- Gebauer, Günter, Horká, Helena a Rubinová, Olga. 2005.** *Vzduchotechnika*. místo neznámé : Era Brno, 2005. 807366027X.
- 2013.** Greener future solutions. *Vnitřní prostředí*. [Online] 2013. <http://harmonyhouse.cz/eco-design-2/vnitni-prostredi/>.
- Habel, Tomáš. 2012.** tzbinfo. *Vnitřní povrchová teplota výplní otvorů – souvislosti s vnitřním prostředím budov*. [Online] 2012. <https://stavba.tzb-info.cz/9262-vnitni-povrchova-teplota-vyplni-otvoru-souvislosti-s-vnitrim-prostredim-budov>.
- Hazucha , Juraj a Bárta , Jan. 2010.** *Nucené větrání s možností rekuperace odpadního tepla v objektech pro vzdělávání*. Praha : Státní fond životního prostředí , 2010. 978-80-260-0699-2.
- Hazucha, Juraj. 2009.** Centrum pasivních domů. *Kvalita vnitřního prostředí*. [Online] 2009. <https://www.pasivnidomy.cz/kvalita-vnitriho-prostredi/t384>.
- Hrbata. 2011.** Návrh větracího systému rodinného domu. Brno : autor neznámý, 2011.
- Hrubý, Libor. 2014.** Centrum pasivního domu. *Kvalita prostředí*. [Online] 01 2014. <https://www.pasivnidomy.cz/kvalita-prostredi/t4030>.
- Ing. Petr Kotek, Ph.D. 2010.** Portál pro stavebnictví a technická zařízení budov. *Ekonomika a vnitřní mikroklima řízeného větrání s rekuperací tepla*. [Online] 15. 02 2010. <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/6249-rekuperace-tepla-v-panelovem-dome-ano-ci-ne>.
- Jokl, Miloslav. 2002.** *Zdravé obytné a pracovní prostředí*. Praha : Academia, 2002. 80-200-0928-0.
- Kabele, Karel. 2013.** ČVUT v Praze Fakulta stavební Katedra technických zařízení budov. *Světlo, teplo, vzduch z pohledu vnitřního prostředí budovy*. [Online] 2013. <https://docplayer.cz/8131487-Svetlo-teplo-vzduch-z-pohledu-vnitriho-prostredi-budovy.html>.

- Klimaflex. 2016.** Ohebné hadice. *flexibilní plastové potrubí pro rozvod vzduchu*. [Online] 2016. <https://www.vzduchar.cz/klimaflex-potrubí-vzduch-rekuperace/>.
- Klimat. 2014.** Distribuční prvky. *Ohebná izolovaná hadice SONO-flex/10m*. [Online] 2014. https://klimatshop.sk/cs/distribucni-prvky/76-1260-ohebna-izolovana-hadice-sono-flex-10m.html#/sono_flex-sono80.
- KONEKT. 2014.** Vzduchotechnika. *Boxy a příslušenství pro rekuperace*. [Online] 2014. <http://www.konekt-hk.cz/boxy-a-prislusenstvi-pro-rekuperace-dn-90mm-737/>.
- Kulhánek, František. 2012.** *Nízkoenergetické a pasivní domy: návrh a realizace: komplexní zpracování problematiky se zaměřením na moderní a ekologická řešení*. Praha : Dashöfer, 2012. 1803-6821.
- Lain, Miloš. 2006.** Portál pro stavebnictví a technická zařízení budov. *Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci*. [Online] 11 2006. <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/3648-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-i>.
- Mareček, Jan. 2007.** *Pozemní stavitelství III*. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. 978-80-248-1470-4.
- MATEICIUC. 2019.** Stropní / stěnové boxy a vyústky. *Stropní / stěnový box průchozí pro talířový ventil DN 125, KLOZ-1x90/125-OC*. [Online] 2019. <https://mat-plasty.cz/trubky-pro-rozvody-vzduchu-prislusenstvi/prislusenstvi-pro-flexibilni-potrubí-klimaflex-sb/stropni-stenove-boxy-a-vyustky/stropni-stenovy-box-pruchozi-pro-talirovy-ventil-dn-125-kloz-1x90-125-oc>.
- Mathauserová, Zuzana. 2009.** tzb-info. *Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí budov - mikroklimatické podmínky a větrání*. [Online] 04 2009. <https://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/5593-pozadavky-na-kvalitu-vnitriho-prostredi-budov-mikroklimaticke-podminky-a-vetrani>.
- Maurer, Karel. 2007.** *Vzduchotechnická zařízení*. Praha : Sobotáles, 2007. 80-86817-21-0.
- nerez-kominy. 2016.** Čtyřhranné potrubí. *Čtyřhranné potrubí kanál rovný KP1000 50x150*. [Online] 2016. https://www.nerez-kominy.cz/cz/krbova-vzduchotechnika/ctyrhranne-rozvody-50x150/148-ctyrhranne-potrubí-kanal-rovny-kp1000-50x150.html?gclid=Cj0KCQjwj9LkBRDnARIsAGQ-hUcxcUnGkAsmBiIbdPagTcKfr3TbxSdH1aoPyhPUDtRSLB-Tp89pEHwaAhC0EALw_wcB.
- Odehnal, Lubomír. 2013.** Stavební komunita. *OCHRANA STAVEB PROTI RADONU Z PODLOŽÍ*. [Online] 2013. <http://stavebnikomunita.cz/profiles/blogs/ochrana-staveb-proti-radonu-z-podlozi-revize-csn-73-0601?overrideMobileRedirect=1>.
- PAUL. 2007.** Paul- rekuperace. *Klasické větrání v porovnání s řízeným větráním s rekuperací tepla*. [Online] 2007. <http://www.paul-rekuperace.cz/srovnani>.
- Radontest. Radontest. Měření radonu**. [Online] <https://www.iradontest.cz/>.
- Schwarzer, Jan. 2006.** Portál pro stavebnictví a technická zařízení budov. *Úvod a vyjádření vlhkosti vzduchu*. [Online] 05 2006. <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3323-teorie-vlhkeho-vzduchu-i>.
- Skotnicová, Řezáč a Vaverka. 2006.** *Odhlučnění staveb*. Brno : Era, 2006. 80-7366-070-9.
- služba, Česká geologická. 2007.** Geologické a geovědní mapy. *Radon a radonové mapy ČR on-line podle regionů*. [Online] 2007. <http://www.geologicke-mapy.cz/radon/>.
- Smola, Josef a Šála, Jiří. 2012.** *Nízká energetická náročnost budov a její zajištění ve výstavbě*. místo neznámé : Centrum pasivního domu, 2012.

SOLUTIONS, GREENER FUTURE. 2013. GREENER FUTURE SOLUTIONS.

Vnitřní prostředí. [Online] 2013. <http://harmonyhouse.cz/eco-design-2/vnitri-prostredi/>.

Šancová, Lucie. 2010. Portál pro stavebnictví a technická zařízení budov. *Větrání panelových domů - opatření a jejich limity.* [Online] 01 2010. <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-bytovych-domu/6181-vetrani-panelovych-domu-opatreni-a-jejich-limity>.

ThermWet. 2009. ThermWet. *O rekuperaci.* [Online] 2009. <http://www.thermwet.cz/>.

Tůma, Jan. 2008. *Domácí klimatizace a čističky vzduchu.* Brno : Era, 2008. 978-80-7366-126-7 .

Úřad pro normalizaci, měření a státní zkušebnictví. 2011. ČSN EN 15665/Z1

Větrání budov . Praha : autor neznámý, 2011.

Veselý , Jaroslav a Mikš, Lubomír. 2012. *Technické požadavky na výstavbu: odborný výklad aktuálních stavebně-technických předpisů a norem pro stavební praxi.* Praha : Dashöfer, 2012. 1802-5242.

Vít a spol. s.r.o. 2017. Vzduchotechnika. *Kovový talířový ventil přívodní KP 100 + zděř.* [Online] 2017. https://www.e-ventilator.cz/673-kovovy-talirovy-ventil-privodni-kp-100-zder.html?gclid=CjwKCAjwm-fkBRBBEiwA966fZBmhZvhv_lAXwjESdFle7LVzBwp-vm9HhahzxwNTM8EX-DylBcrfKxoCWDIQA_vD_BwE.

vzduchotechnika.cz. 2019. SPIRO ROURA Ø125 MM. *VZDUCHOTECHNICKÁ SPIRO ROURA, PRŮMĚR 125 MM.* [Online] 2019.

https://www.vzduchotechnika.cz/detail/2288-spiro-roura-125?gclid=Cj0KCQjwj9LkBRDnARIsAGQ-hUdm_Dpyx64-2XHb5e83ejj7hI4ObXW41NcOFObOgrqpQBxRkeByYUYaAjq7EALw_wcB.

Zehnder Group Czech Republic, s.r.o. 2013. tzbinfo. *Řízené větrání s rekuperací tepla pro rodinné domy a byty (II).* [Online] 2013. <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/10635-rizene-vetrani-s-rekuperaci-tepla-pro-rodinne-domy-a-byty-ii>.

Zmrhal , Vladimír. 2014. *Větrání rodinných a bytových domů.* Praha : Grada, 2014. 978-80-247-4573-2.

Zmrhal, Vladimír. 2011. Portál pro stavebnictví a technická zařízení budov. *Systémy větrání obytných budov.* [Online] 10 2011. <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu/7937-systemy-vetrani-obytnych-budov>.

11 Přílohy

Příloha 1 - Položkový rozpočet navrženého systému	II
Příloha 2 - Hodnoty pro výpočet denostupňů	III
Příloha 3 - Výsledné vypočtené hodnoty	IV
Příloha 4 - Výkres návrhu řízeného větrání	V

Příloha 1-Položkový rozpočet navrženého systému

Název položky	Množství	Cena bez DPH [Kč]
Kompaktní rekuperační jednotka VENTBOX 300	1 ks	59900
Vsuvka 160	4 ks	636
Tepelně izolovaná hadice, tl. Izolace 50 mm, 160 mm x 7,5m	2 ks	2594
Protidešťová žaluzie 200x200 mm	2 ks	2496
Přechod na kruhové potrubí 200/160	2 ks	3040
Pozinkované potrubí Spiro 160 mm x 3 m	0,5 ks	221
Samolepící kaučuková izolace, tl. 15 mm	1 m ²	400
Zpětná klapka s těsněním	2 ks	594
Spojka vnější	2 ks	70
Tepelně izolovaná hadice, tl. izolace 25 mm, 160 mm x 10 m	0,5 ks	544
Tepelně izolovaná hadice, tl. izolace 25 mm, 160 mm x 10 m	0,5 ks	537
Tlumič hluku 160/600	1 ks	1438
Kovová objímka s gumou pr. 250 mm	2 ks	360
Rozváděcí box se 3 průběžnými vývody 3x90mm/125 mm	1 ks	1390
Přechod osový 160/125 mm	1 ks	89
Spojka vnější	1 ks	33
Rozváděcí box s 6 tlumícími vývody 6x90/160 mm	1 ks	2160
Stropní box 1x90 mm/125 mm	8 ks	4656
Flexibilní PE potrubí ED Flex – 90 mm/50 m	1,5 ks	5235
Odvodní talířový ventil 125 mm	3 ks	405
Prívodní talířový ventil 125	5 ks	675
Spojovací, těsnící a upevňovací materiál	1 ks	1000
Senzor koncentrace CO2	3 ks	8592
Senzor koncentrace vlhkosti	2 ks	4150
Senzor kontaminace SQA	1 ks	3480
Tlačítko intenzivního odtahu	1 ks	1230
Elektroinstalace		950
Regulace distribučních elementů		500
Montáž rozvodů		10200
Montáž-kompletace systému		1500
Celková cena bez DPH v Kč		119075
DPH 15 %		17861
Celková cena s DPH v Kč		136936

Zdroj: (ThermWet, 2009)

Příloha 2 - Hodnoty pro výpočet denostupňů

Průměrná denní venkovní teplota	Počet dní s průměrnou denní teplotou
-12	8
-11	2
-10	2
-9	1
-8	4
-7	3
-6	4
-5	5
-4	5
-3	9
-2	11
-1	12
0	13
1	14
2	13
3	14
4	13
5	14
6	13
7	14
8	12
9	14
10	12
11	14
12	12
13	14

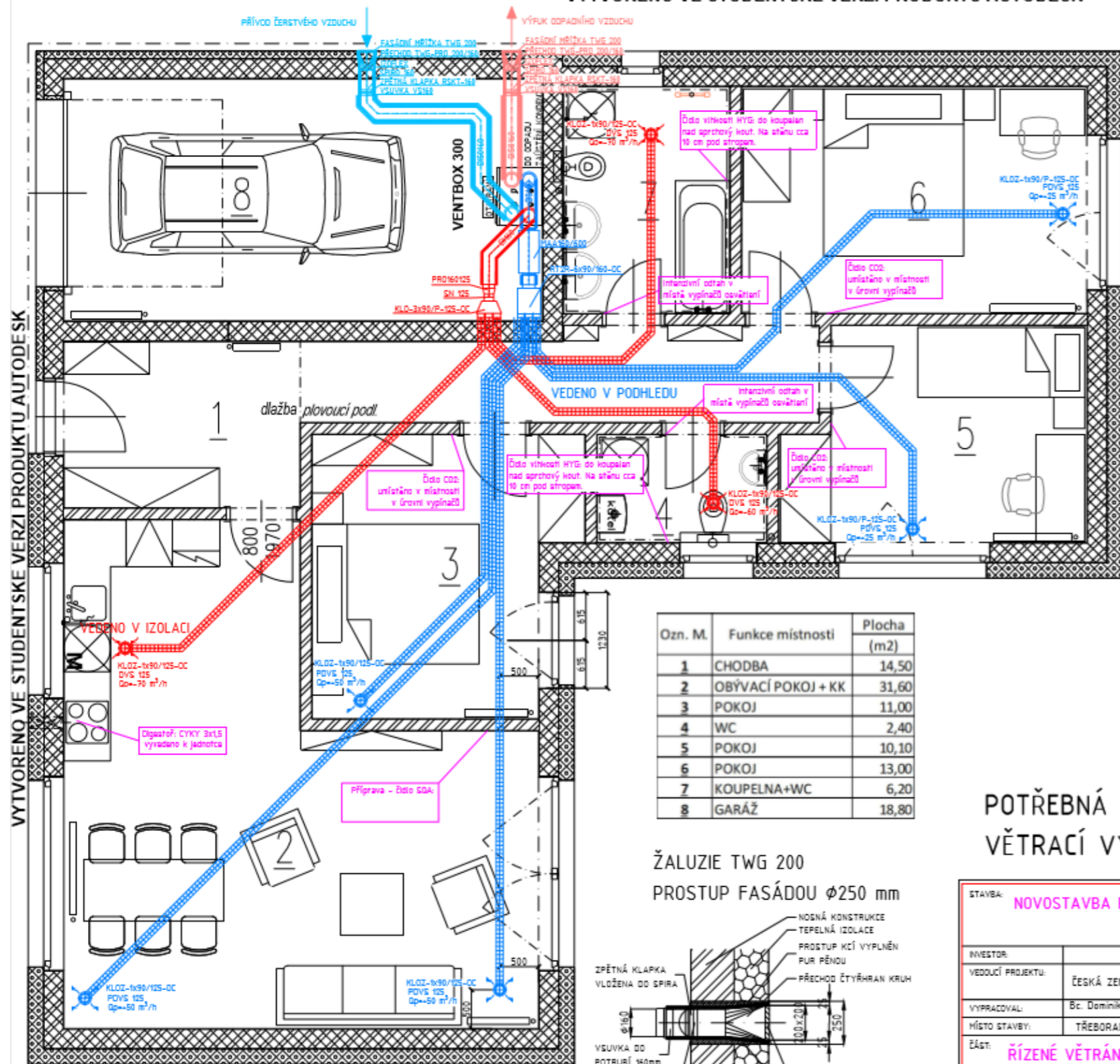
Zdroj: (ČSN 73 0540-3, 1993)

Příloha 3 - Výsledné vypočtené hodnoty

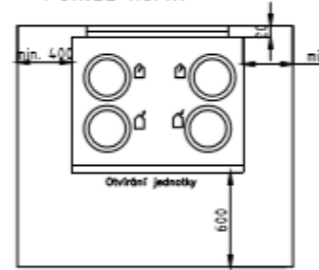
Q_v [m ³ /h]	t_{es} [°C]	$n_{dnů}$ [dny]	D [d*K]	ρ [kg/m ³]	c [J/K*kg]	Q_N [Wh]	Q_R [Wh]
143	-12	8	256	1,353	1010	333 506	30 016
143	-11	2	62	1,347	1010	80 413	7 237
143	-10	2	60	1,342	1010	77 530	6 978
143	-9	1	29	1,337	1010	37 333	3 360
143	-8	4	112	1,332	1010	143 644	12 928
143	-7	3	81	1,327	1010	103 496	9 315
143	-6	4	104	1,322	1010	132 383	11 914
143	-5	5	125	1,317	1010	158 512	14 266
143	-4	5	120	1,312	1010	151 594	13 643
143	-3	9	207	1,307	1010	260 503	23 445
143	-2	11	242	1,303	1010	303 617	27 326
143	-1	12	252	1,298	1010	314 950	28 345
143	0	13	260	1,293	1010	323 697	29 133
143	1	14	266	1,288	1010	329 886	29 690
143	2	13	234	1,284	1010	289 299	26 037
143	3	14	238	1,279	1010	293 099	26 379
143	4	13	208	1,274	1010	255 152	22 964
143	5	14	210	1,27	1010	256 797	23 112
143	6	13	182	1,265	1010	221 681	19 951
143	7	14	182	1,261	1010	220 980	19 888
143	8	12	144	1,256	1010	174 148	15 673
143	9	14	154	1,252	1010	185 648	16 708
143	10	12	120	1,247	1010	144 083	12 968
143	11	14	126	1,243	1010	150 802	13 572
143	12	12	96	1,239	1010	114 527	10 307
143	13	14	98	1,234	1010	116 441	10 480
Celková tepelná ztráta větráním za rok						$\Sigma Q_N = 5\,174$ kWh	$\Sigma Q_R = 465,6$ kWh

Příloha 4 - Výkres návrhu řízeného větrání

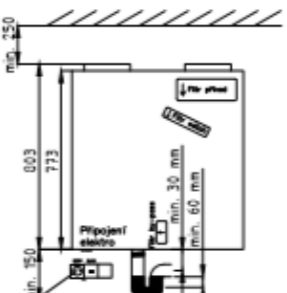
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK



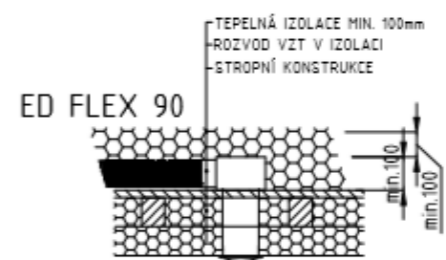
Manipulační prostor
Pohled horní



Pohled čelní



Elektro příprava: (Podrobné požadavky viz níže)
Zásuvka 230V/50Hz max. 0,2m od jednotky - jistič 16A
Zásuvka datová RJ45 - přívod od domácí internetové sítě
Kabely od senzorů, nebo tlačítek UTP, rezerva min. 2m ze stěny

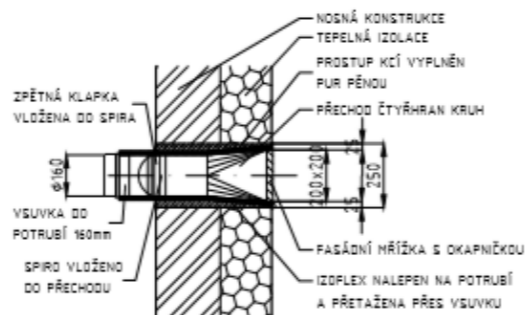


LEGENDA ZNAČENÍ VZDUCHOTECHNICKÝCH ROZVODŮ:

- Přívodní telířový ventil 125 mm.
- Odvěhový telířový ventil 125 mm.
- SÁNÍ ČERSTVÉHO VZDUCHU EXT.**
- VÝFUK ZNEČIŠTĚNÉHO VZDUCHU EXT.**
- VŠECHNY VNITŘNÍ DVEŘE ŘEŠIT BEZ PRAHU S MIN. 8mm MEZEROU PODE DVEŘMI
- PROSTUPY SKRZ STROPNÍ NEBO STĚNOVÉ KONSTRUKCE JE NUTNO PŘIPRAVIT PŘED MONTÁŽÍ VZT

Ozn. M.	Funkce místnosti	Plocha (m2)
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

ŽALUZIE TWG 200
PROSTUP FASÁDOU Ø250 mm



POTŘEBNÁ VÝMĚNA VZDUCHU V OBJEKTU: 200 m³/h
VĚTRACÍ VÝKON REKUPERAČNÍ JEDNOTKY: 300 m³/h

STAVBA: NOVOSTAVBA RD - TŘEBORADICE		ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE TECHNICKÁ FAKULTA	
INVESTOR:		ČÍSLO ZAKÁZKY:	
VEDUČÍ PROJEKTU:	ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE	MĚŘÍTKO:	1:50
VYPRACOVAL:	Bc. Dominik Pecher	STUPEŇ:	
MÍSTO STAVBY:	TŘEBORADICE	DATUM:	II/2019
ČÁST:	ŘÍZENÉ VĚTRÁNÍ S REKUPERAČÍ	Č. PARÉ:	
OBSAH:	SCHEMA ROZVODŮ VZT 1NP		

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK