



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

## NÁVRH VĚTRÁNÍ RODINNÉHO DOMU

DESIGN OF VENTILATION SYSTEM IN APARTMENT

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Petráš

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondřej Pech, Ph.D.

BRNO 2021



## Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Jan Petráš**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Energetika, procesy a životní prostředí  
Vedoucí práce: **Ing. Ondřej Pech, Ph.D.**  
Akademický rok: 2020/21

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

### Návrh větrání rodinného domu

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Starší zrekonstruované domy se často potýkají s nedostatečným provětráváním místností, a to vlivem nových těsných oken a vchodových dveří a zaizolované obálky domu. To vede, obzvláště v zimním období, ke značnému nárůstu vlhkosti – nad 60 %, která může kondenzovat na chladnějších konstrukcích. Zároveň narůstá množství oxidu uhličitého v místnostech, kdy koncentrace často překračuje hodnotu 3000 ppm.

#### Cíle bakalářské práce:

Provést literární rešerši vhodných větracích jednotek s rekuperací, případně i s chlazením, stanovit potřebné množství větracího vzduchu. Navrhnout trasu vzduchovodů a typ koncových prvků. Dále porovnat náklady na pořízení, montáž a servis vybraných větracích jednotek. Vypočítat roční náklady na provoz.

#### Seznam doporučené literatury:

CHYSKÝ, Jaroslav a Karel HEMZAL. Větrání a klimatizace. 3, zcela přeprac. vyd. Brno: BOLIT-B Press, 1993. ISBN 80-901-5740-8.

JANOTKOVÁ, Eva. Technika prostředí. Brno: VUTIUM, 1991, 201 s. ISBN 802140258X.

SZÉKYOVÁ, Marta. Větrání a klimatizace. Bratislava: Jaga, 2006, 359 s. ISBN 80-807-6037-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce je zaměřena na návrh větracího systému s rekuperací pro zvolený rodinný dům. Práce je rozdělena do čtyř kapitol, kde se první kapitola zabývá rešerší větracích jednotek a prvků potřebných pro návrh potrubní sítě. Druhá kapitola se zabývá představením zvoleného domu a volbou vhodných rekuperačních jednotek. V posledních kapitolách se práce zabývá praktickou částí, kdy třetí kapitola řeší návrh vzduchovodů a následný výpočet tlakových ztrát. Ve čtvrté kapitole jsou pak řešeny realizační a provozní náklady.

### **Klíčová slova**

Větrací jednotka, rekuperace, nucené větrání, rodinný dům

## **ABSTRACT**

The present bachelor thesis deals with design of a ventilation system with recuperation for a selected family house. The work is divided into four chapters, where the first chapter deals with the research of ventilation units and elements needed for the design of the pipeline system. The second chapter focuses on the introduction of the selected house and the selection of suitable recuperation units. In the last chapters, the thesis includes the practical part, where the third chapter deals with the design of vents and the subsequent calculation of pressure losses. In the fourth chapter, the implementation and operating costs are looked into.

### **Key words**

Ventilation unit, recuperation, forced ventilation, family house

## **BIBLIOGRACKÁ CITACE**

PETRÁŠ, J. *Návrh větrání rodinného domu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2021. 96 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Pech, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Návrh větrání rodinného domu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....

Datum

.....

Jan Petráš

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Ondřeji Pechovi Ph.D., za čas věnovaný konzultacím bakalářské práce, za cenné připomínky a užitečné rady.

Rád bych také poděkoval Ing. Leoši Válkovi, Ing. Ondřeji Valkovi a celé firmě Fourclima s.r.o., která mi poskytla cenné zkušenosti a rady v oboru – Projekce vzduchotechniky budov.

V neposlední řadě patří poděkování mojí rodině, přítelkyni a přátelům za velkou podporu v bakalářském studiu.



---

## Obsah

Úvod.....	11
1 Větrací jednotky s rekuperací.....	12
1.1 Rozdělení větracích jednotek.....	12
1.2 Komponenty větracích jednotek .....	13
1.2.1 Ventilátory .....	14
1.2.2 Výměníky ke zpětnému získání tepla (ZZT).....	19
1.2.3 Filtrace vzduchu .....	23
1.2.4 Ohřev vzduchu .....	25
1.2.5 Chlazení vzduchu .....	27
1.2.6 Regulace a ovládání .....	28
1.2.7 Potrubí a jeho elementy .....	30
1.2.8 Koncové prvky.....	35
2 Volba rekuperační jednotky .....	38
2.1 Požadavky na větrání .....	40
2.2 Množství vzduchu.....	41
2.3 Výběr rekuperační jednotky .....	44
2.3.1 Jablotron – Futura L .....	45
2.3.2 Atrea – Duplex ECV5 380.....	47
2.3.3 Vaillant – recoVAIR VAR 360/4 .....	48
3 Návrh potrubní sítě .....	50
3.1 Trasa potrubní sítě .....	50
3.1.1 První varianta návrhu.....	51
3.1.2 Druhá varianta návrhu .....	54
3.2 Kontrolní výpočet potrubní sítě .....	57
3.2.1 Návrh dimenzí potrubí.....	61
3.2.2 Návrh distribučních elementů.....	62
3.2.3 Výpočet tlakových ztrát potrubní sítě (varianta č. 1).....	67

---

3.2.4	Výpočet tlakových ztrát potrubní sítě (varianta č. 2).....	71
3.3	Instalace větracích prvků .....	73
3.3.1	Montáž větrací jednotky.....	73
3.3.2	Montáž vzduchovodů.....	74
4	Realizační a provozní náklady .....	75
4.1	Celkové náklady pro jednotku Duplex ECV5 380.....	76
4.2	Celkové náklady pro jednotku recoVAIR VAR 360/4.....	78
4.3	Celkové náklady pro jednotku Futura L.....	79
4.4	Shrnutí celkových nákladů jednotek.....	80
	Závěr .....	83
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	85
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	89
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	93
	SEZNAM TABULEK.....	95
	SEZNAM PŘÍLOH .....	96

## **Úvod**

Starší domy a bytové jednotky jsou dnes nejčastěji rekonstruovány za účelem snížení energetické ztráty, a to buď zateplením vnějšího obvodového zdiva, nebo výměnou zastaralých dřevěných oken a dveří. Tím se omezuje odvod tepla do okolí, a to má vliv na finanční úsporu pro majitele nemovitostí. Avšak každé klady mají i své zápory, především dopad na kvalitu ovzduší v obytných prostorách budov. Při zabránění výměny tepla s okolím, je zabráněno i přirozené proudění čerstvého vzduchu skrze netěsnosti spojů mezi okny a zdivem nebo nedostatečným těsněním mezi otevíracími křídly a rámy [2]. Vlivem neprůdušnosti moderních oken či dveří se zvyšuje úroveň CO<sub>2</sub>, které často převyšuje hodnotu 3000 ppm, a vzdušné relativní vlhkosti, která nezřídka dosahuje 70 % RH [1]. Tyto hodnoty vytvářejí špatné podmínky, které ohrožují zdraví osob. Pro omezení nárůstu těchto nežádoucích vlivů se naskytuje alternativní řešení nuceného větrání [2].

# 1 Větrací jednotky s rekuperací

Větrací jednotky s rekuperací jsou zařízení, které odvádí odpadní vzduch z větracího prostředí a nahrazují jej čerstvým vzduchem. Jsou navrhovány tak, aby byly schopné dodávat navržené množství vzduchu o požadované kvalitě. Předtím, než je vzduch přiveden do budovy, musí projít touto jednotkou, kde je jeho kvalita upravena za pomoci filtrů, ventilátoru a výměníku tepla.

## 1.1 Rozdělení větracích jednotek

Před hledáním větrací jednotky na trhu je potřeba specifikovat její provozní parametry. Tato zařízení se vyrábí v široké škále sestav, provedení a výkonu, které nám výrobce nebo distributor může nabídnout [3].

Větrací jednotky můžeme rozdělit podle následujících kritérií:

Dle konstrukce:

- **podstropní** – tyto větrací zařízení nejčastěji nalezneme v bytových jednotkách,
- **nástěnné** – využití mají zejména u rodinných domů,
- **střešní** – jsou nejčastěji navrhované pro vysoko objemové průmyslové nebo obchodní haly,
- **venkovní** – setkat se s nimi můžeme u rodinných domů nebo u bytových jednotek. Většinou jsou zavěšeny na vnějších zdech či na sedlových střeších budov [1].

Dle provedení:

- **komfortní** – sloužící pro větrání prostorů s větší koncentrací osob (kina, sportovní zařízení, společenské zařízení, domy a byty),
- **průmyslová** – sloužící pro výrobní haly,
- **technologická** – nutná k provozu výrobního zařízení,
- **účelová** – zahrnují např. odmlžování, havarijní větrání, požární větrání atd. [1].

Dle úrovně tlaku:

- **Přetlakové větrání** – nedovoluje průnik okolního a znehodnoceného vzduchu do větraného prostoru.
- **Podtlakové větrání** – zamezuje únik znehodnoceného vzduchu z větrací místnosti do okolního prostředí (např. chemické laboratoře).
- **Rovnotlakové větrání** – do prostoru se přivádí/odvádí stejné množství vzduchu [1].

Dle flexibility a zónování:

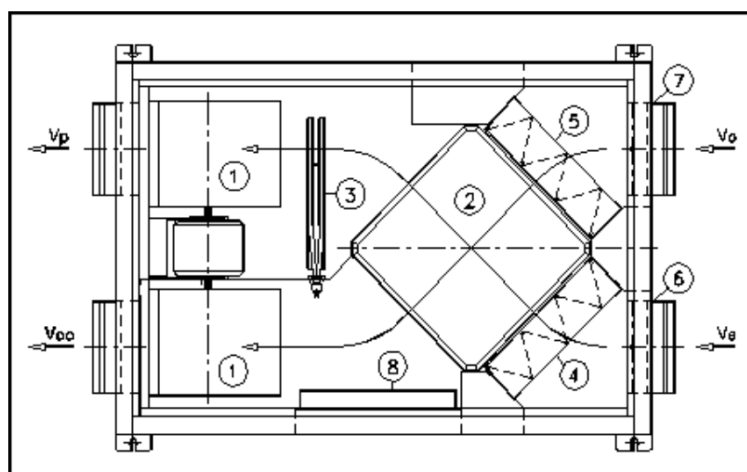
- **jednozónové** – obsluhuje jeden celek místností,
- **vícezónové** – umožňuje obsluhovat více místností [1].

Dle umístění:

- **Centrální (ústřední)** – většinou jsou umístěny v technické místnosti a ovládají dodávku a odvod vzduchu pro více místností.
- **Decentrální (lokální)** – jsou výrazně menší a aplikují se zvlášť do jednotlivých místností [1].

## 1.2 Komponenty větracích jednotek

Mezi požadavky na vzduchotechnická zařízení patří i kvalita přiváděného vzduchu, která je potřebná pro udržení komfortu v interiéru budovy. Dříve než je čerstvý vzduch přiveden do místností, musí projít několika úpravami provedenými ve větrací jednotce (viz obr. 1.1).



Obr. 1.1 – Schéma větrací jednotky s rekuperací [8]

- (1) – Ventilátory s elektrickým motorem; (2) – Deskový výměník tepla; (3) – Elektrický ohřevač (vodní); (4) – Filtr čerstvého vzduchu; (5) – Filtr odvodního vzduchu; (6) – Klapka čerstvého vzduchu; (7) – Klapka odvodního vzduchu; (8) – Rozvaděč M a R, případně svorkovnice;  $v_e$  – Přívod čerstvého vzduchu;  $v_p$  – Přiváděný vzduch;  $v_o$  – Odváděný vzduch;  $v_{oo}$  – Znehodnocený vzduch.

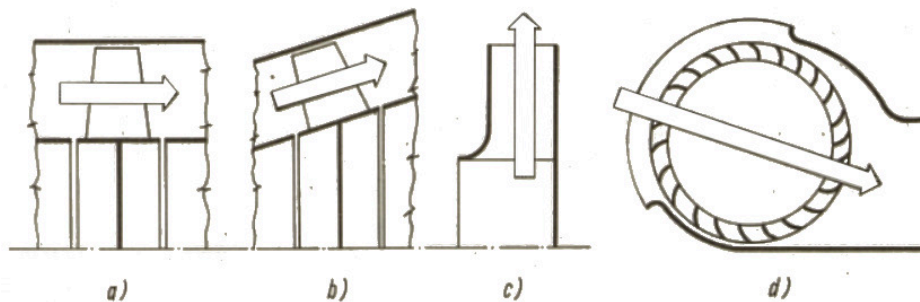
Venkovní vzduch má několik nežádoucích vlastností, zejména nadměrná vlhkost, prach, škodlivé pevné částice, výpary, spaliny, zápachy apod. Konečná kvalita vzduchu musí být přijatelná jak pro osoby, tak i pro konstrukce budov. Proto vzduch prochází přes několik zařízení, které jej upraví na požadovanou kvalitu (filtrace, vlhčení/odvlhčení, ohřev/chlazení). Operace probíhající uvnitř rekuperační jednotky pracují na základě fyzikálních, mechanických a elektrických principů [5].

### 1.2.1 Ventilátory

Ventilátory jsou lopatkové rotační stroje pro dopravu vzduchu, plynů, par a jiných směsí. V dnešní době má každá větrací jednotka zabudované ventilátory, které vlivem dynamického působení dodávají vzduchu energii překonávat tlakové ztráty v potrubí [7]. Ventilátory dělíme podle základních charakteristik: směru průtoku vzduchu a dopravního tlaku [6].

Dle směru průtoku vzduchu (viz obr. 1.2):

- Axiální ventilátory
- Radiální ventilátory
- Diagonální ventilátory
- Diametrální ventilátor



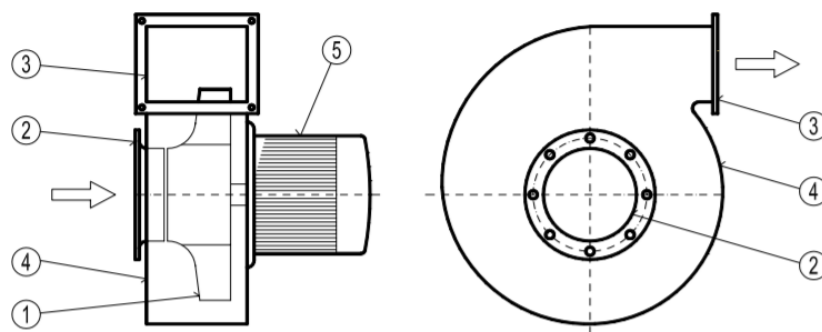
Obr. 1.2 – Schéma základních ventilátorů [18]

a) axiální ventilátor, b) diagonální ventilátor, c) radiální ventilátor, d) diametrální ventilátor

Dle dopravního tlaku:

- Nízkotlaké (do 1 kPa)
- Střednětlaké (do 1 až 3 kPa)
- Vysokotlaké (nad 3 kPa)

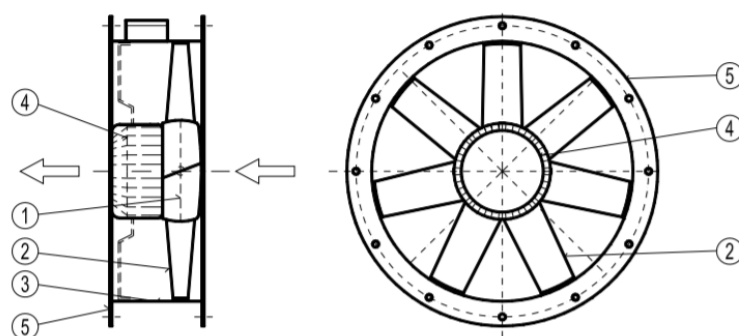
Ve větracích jednotkách s rekuperací se setkáme nejčastěji s radiálními ventilátory (viz obr. 1.3). Ventilátor se skládá z oběžného kola, které je osazeno lopatkami, které se mohou lišit jejich zahnutím. Lopatkami je vzduch nasáván v axiálním směru a odváděn v kolmém směru na osu rotace, a spirálové skříně, která nám zachycuje přiváděný vzduch a přeměňuje jeho kinetickou energii na tlakovou [7].



**Obr. 1.3 – Radiální ventilátor [9]**

(1) – oběžné kolo; (2) – sací hrdlo; (3) – výtláčné hrdlo; (4) – spirální skříň; (5) – elektromotor

Dalším typem těchto zařízení je axiální ventilátor. Axiální ventilátor se skládá z rotoru s oběžnými lopatkami a statoru, který plní funkci řízení vtoku do oběžného kola nebo ustálení vzduchu na odvodním konci ventilátoru (viz obr. 1.4). Axiální ventilátory dělíme na dva základní typy – přetlakové a rovnotlaké. [7]



**Obr. 1.4 – Axiální ventilátor [9]**

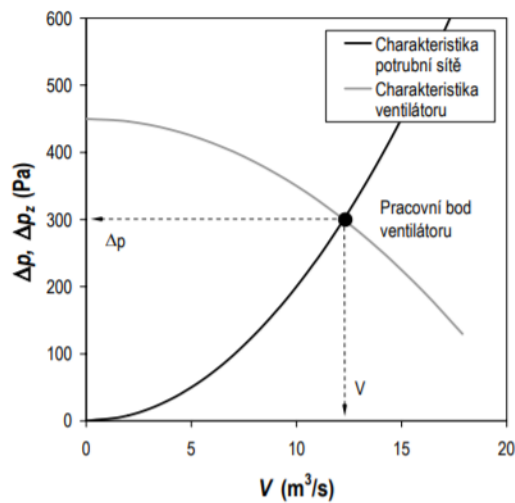
(1) – rotor; (2) – oběžné lopatky; (3) – plášť; (4) – elektromotor; (5) – příruba

Axiální ventilátory jsou charakteristické velkým průtokem vzduchu, proto se využívají pro situace odvádění velkého množství vzduchu na krátké vzdálenosti (max. do 5 m). Zato radiální ventilátory se vyznačují vyšším provozním tlakem nežli axiální ventilátory a jsou proto používány pro odvětrávání prostoru na velkou vzdálenost a členitým potrubím, kde dochází k tlakovým ztrátám (odbočky, T-kusy, změna průřezu atd.) [10].

### Charakteristiky ventilátorů

Po zařazení ventilátoru do provozu, pracuje při podmínkách charakterizovaných provozním bodem, jímž se myslí průsečík tlakové charakteristiky ventilátoru s charakteristikou sítě. Tlaková charakteristika je závislost dopravního tlaku  $\Delta p$  na průtoku  $\dot{V}$  při konstantních otáčkách  $n$  a konstantní hustotě vzduchu  $\rho$  (viz obr. 1.5)

Charakteristikou sítě je přibližně parabolická křivka tlaku  $\Delta p$ , potřebného k dosažení průtoku  $\dot{V}$ , viz rovnice (1.1) [6].



Obr. 1.5 – Charakteristika ventilátoru a potrubní sítě [9]

$$\Delta p = C \cdot \dot{V}^2 \quad (1.1)$$

Kde:

$\Delta p$  [Pa] dopravní tlak ventilátoru,

$C$  [kg/m<sup>7</sup>] konstanta dané sítě,

$\dot{V}$  [m<sup>3</sup>/s] objemový průtok.

Pro stavbu a konstrukci nových ventilátorů se využívají mechanické metody podobnosti, kdy se aplikují konkrétní bezrozměrná podobnostní čísla, viz rovnice (1.2, 1.3, 1.4) [7].

Tlakové číslo  $\psi$ :

$$\psi = \frac{\Delta p}{\frac{\rho}{2} \cdot u_2^2}, [1] \quad (1.2)$$

Objemové číslo  $\varphi$ :

$$\varphi = \frac{\dot{V}}{\frac{\pi}{4} \cdot D_2^2 u_2}, [1] \quad (1.3)$$

Výkonové číslo  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{\psi \varphi}{\eta_c}, [1] \quad (1.4)$$



Kde:

$\Delta p$	[Pa]	dopravní tlak ventilátoru,
$u_2$	[m/s]	obvodová rychlost,
$D_2$	[m]	průměr oběžného kola,
$\dot{V}$	[m <sup>3</sup> /s]	objemový průtok,
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	hustota vzduchu,
$\eta_c$	[1]	účinnost ventilátoru.

### Pohon ventilátorů

U ventilátorů se nejčastěji využívají asynchronní elektromotory (AC) nebo stejnosměrné elektromotory (DC, EC) [7], [11].

Stejnoseměrné motory (DC) mají vysokou účinnost, ale v důsledku odporu vinutí, tření kartáče a ztrát vířivými proudy se účinnost značně snižuje [11].

Asynchronní elektromotory patří mezi nejpoužívanější elektromotory pro pohon ventilátorů, a to zejména díky jejich jednoduchosti, nenáročné údržbě a relativně nízké ceně. Tyto elektromotory dělíme podle kotvy, buď s kotvou na krátko nebo kotvou kroužkovou [18].

Asynchronní elektromotory s kotvou na krátko jsou konstrukčně nenáročné, ale nelze je zkonstruovat pro libovolné pracovní otáčky, které by se přibližovaly synchronním otáčkám, z důvodu tvrdé charakteristiky a malého skluzu. Další nevýhodou je zvyšování záběrového proudu, který je několikanásobně větší nežli normální proud a vede to ke zvyšování teploty při rozběhu na statorovém vinutí, čímž tenhle stav může poškodit elektromotor [18].

Asynchronní elektromotory s kotvou kroužkovou se liší od předešlého typu tím, že nemají statorové vinutí, ale toto vinutí je vedeno na několik kroužků přes kartáče do svorkovnice, která se nachází na statoru. Tyto elektromotory disponují regulací otáček ventilátoru a tím i jeho výkonu [11].

Stejnoseměrné elektromotory (EC) jsou ovládány externí elektronikou, a to buď elektronickou deskou nebo frekvenčním měničem. Protože tento typ elektromotoru je ovládán externí elektronikou, nepotřebuje omezené synchronní otáčky. EC motory obsahují permanentní magnety a stator s pevným vinutím. Mezi výhody patří vyšší životnost, protože tento typ motorů nemá kartáče, které by jinak zapříčinily jiskření a pokles výkonu. Přes řídicí elektroniku je výrazně zlepšená ovladatelnost, snížení energetických ztrát a zaručení lepšího výkonu motoru. U EC motorů nedochází k prokluzu jako u AC motorů (účinnost až 84 % [40]), což vede k vyšší účinnosti až 91 % [40]. Synchronní elektromotory jsou zařízení, která nemají velké rozměry, a šetří

tedy prostor. Oproti asynchronním motorům jsou stejnosměrné motory menší, ale výkonnostně se jim vyrovnají [11].

### Hluk ventilátorů

Z velké části, zapříčiňují hluk ventilátory ve vzduchotechnickém zařízení, z té menší části, tvoří hluk valivá ložiska, špatně zvolené potrubí nebo špatná údržba ventilátorů. Hluk patří mezi hlavní technické parametry větracích zařízení, a proto výrobce musí stanovit do technického listu jednotky hladinu akustického výkonu. Jak už bylo zmíněno, s akustickým hlukem se musí počítat při navrhování vzduchovodů, neboť malý průřez potrubí neposkytne dostatečný prostor pro rozptýl zvuku [6].

Hluku můžeme zamezit několika způsoby, jedním je zaizolování potrubí, čímž zvětšíme hmotu mezi větracím prostorem a vzduchem potrubí, nebo použijeme tlumiče hluku, které se aplikují při vstupu a výstupu vzduchu u větrací jednotky [12].

### Regulace ventilátorů

Při dlouhodobém provozu větracího zařízení, dochází k zanášení filtrů, výměníků tepla apod., což způsobuje větší tlakové ztráty, horší přestup tepla nebo změnu hydraulických ztrát. Za takových podmínek, musí být potrubní síť trochu předimenzovaná pro zajištění dlouhodobého provozu požadovaných průtoků vzduchu. Po předimenzování potrubní sítě je nutné ji vyregulovat, aby přívod/odvod byl tam, kde je ho potřeba a kde byl navržen [7].

Přívodní nebo odpadní vzduch můžeme regulovat několika způsoby: škrcením, změnou počtu otáček, natáčením naváděcích lopatek, natáčení lopatek u oběžného kola nebo přerušovaným chodem [6].

Dříve nejčastěji používaným způsobem regulace bylo škrcení. V reálné aplikaci se používaly škrtící klapky, které se mohly umístit před nebo za ventilátor, avšak hlavní nevýhodou byla změna charakteristiky potrubní sítě. V dnešní době pro celkovou regulaci ventilátoru je škrcení z hlediska energetické náročnosti nejméně vyhovující a používá se pouze k doregulování sítě, proto se v současnosti škrtící klapky instalují před distribuční element [7].

Při regulaci změnou otáček se charakteristická křivka nemění, ale provozní bod se posouvá po parabole. Snížením otáček také snížíme průtok vzduchu a tím i nárok na příkon energie. V minulosti byla poptávka po regulačních elektromotorech, které byly nákladné na dopravu, proto se používaly jednosměrné elektromotory, které vyžadovaly speciální, nákladné napájecí zdroje [7]. V současnosti se kvůli ekodesignu používají pro domácí jednotky zejména EC motory.

Regulace natáčení lopatek oběžného kola se nejvíce uplatňuje u větších axiálních ventilátorů, kdy konstrukce zajišťující natáčení lopatek za chodu je složitá a finančně náročná. Proto někteří výrobci nabízejí ventilátory už s předem nastavenými

lopatkami. Pokud situace v praxi vyžaduje natočení oběžných lopatek, lze toho dosáhnout až po částečné demontáži ventilátoru [7].

### 1.2.2 Výměníky ke zpětnému získání tepla (ZZT)

Výměník tepla je zařízení, při kterém dochází k přechodu energie přes teplosměnnou plochu z teplejší tekutiny na chladnější. Nejznámějšími výměníky jsou ohříváče a chladiče vzduchu nebo vody, výparníky a kondenzátory [7].

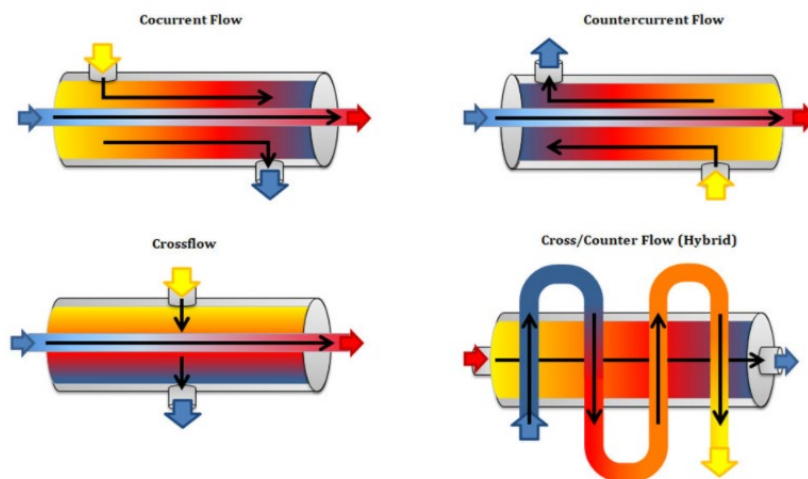
ZZT využívá tepelnou energii z odpadního vzduchu, který je odváděn z budovy a je použit k předehřevu čerstvého vzduchu přiváděného do budovy. ZZT využívají přenos tzv. citelného tepla, některá zařízení umožňují i přenos vlhkosti, jinak řečeno zpětné získání tepla vázaného. Pro zpětné získání vlhkosti z odváděného vzduchu se využívají zejména entalpické výměníky [9].

ZZT dělíme na dvě základní skupiny:

- rekuperační,
- regenerační [7].

Dělení výměníků dle směru toku tekutin (viz obr. 1.6):

- souproudé výměníky,
- protiproudé výměníky,
- křížové výměníky,
- kombinované výměníky.



Obr. 1.6 – Směry toku tekutin [13]

Cocurrent Flow – souproudé proudění; Countercurrent Flow – protiproudé proudění; Crossflow – křížové proudění; Cross/Counter Flow – kombinované proudění

Z výše uvedené definice víme, že je k ZZT zapotřebí energie odpadního vzduchu. Tento proces pracuje na určité účinnosti, která je jednou z hlavních technických

charakteristik výměníku. Tuto účinnost porovnáváme v následující rovnici (viz rovnice (1.5) [9]).

$$\eta = \frac{t_{E2} - t_{E1}}{t_{I1} - t_{E1}}, [1] \quad (1.5)$$

Kde:

$\eta$	[1]	účinnost výměníku
$t_{E1}$	[°C]	teplota přiváděného vzduchu před výměníkem,
$t_{E2}$	[°C]	teplota přiváděného vzduchu za výměníkem,
$t_{I1}$	[°C]	teplota odváděného vzduchu před výměníkem [9].

Systém se zpětným získáváním vlhkosti nám popisuje vlhkostní faktor  $\psi$  (viz rovnice(1.6) [9]).

$$\psi = \frac{x_{E2} - x_{E1}}{x_{I1} - x_{E1}}, [1] \quad (1.6)$$

Kde:

$\psi$	[1]	vlhkostní faktor
$x_{E1}$	[g/kg <sub>s.v.</sub> ]	měrná vlhkost přiváděného vzduchu před výměníkem,
$x_{E2}$	[g/kg <sub>s.v.</sub> ]	měrná vlhkost přiváděného vzduchu za výměníkem,
$x_{I1}$	[g/kg <sub>s.v.</sub> ]	měrná vlhkost odváděného vzduchu před výměníkem [9].

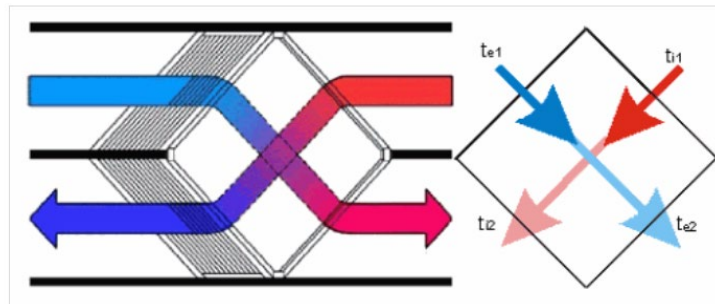
Výrobci vzduchotechnických jednotek jsou nuceni dodržovat nařízení evropské komise č. 1253/2014, které říká, že od 1.1. 2018 musí být minimální hranice účinnosti ZZT 73 % (bez kondenzace) a pro uzavřené systémy 68 % (bez kondenzace) [14].

### Rekuperační výměníky

Rekuperace je typ výměny tepla mezi dvěma tekutinami o rozdílné entalpii, kdy jedna odpadní tekutina nese s sebou tepelnou energii z místnosti a druhá nese nižší tepelnou energii z venkovního prostředí. Tyto tekutiny jsou přivedeny do rekuperačního výměníku, kde jsou navzájem odděleny teplosměnnou přepážkou, aby se čerstvý vzduch nemísil s odpadním vzduchem. Rekuperační výměníky disponují vysokou účinností, která s kondenzací činí více než 90 %. Mezi rekuperační výměníky patří deskové a tepelné trubice [4], [9].

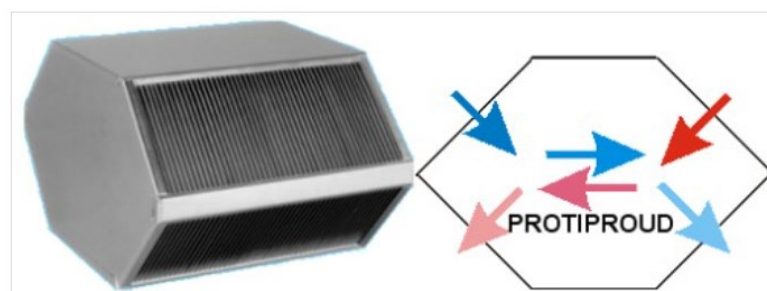
Deskové výměníky se nejčastěji používají v zařízení s menším průtokem vzduchu (pro domácnosti, menší provozovny). Vzduch (čerstvý, odpadní) je přiváděn do výměníku, ve kterém jsou odděleny teplonosnými deskami. Desky se vyrábí z několika materiálů: nerez, oceli, hliníku nebo plastu. Pro těsnost deskových výměníků se používá několik technologií pro jejich spojení zejména pájení, svaření, sešroubování nebo lepení.

Nejvíce se můžeme setkat s výměníky, které mají křížové proudění nebo protiproudé proudění (viz obr. 1.7, obr. 1.8) [15].



**Obr. 1.7 – Deskový výměník křížový [15]**

$t_{e1}$  – teplota přiváděného vzduchu před výměníkem;  $t_{e2}$  – teplota přiváděného vzduchu za výměníkem;  $t_{i1}$  – teplota odváděného vzduchu před výměníkem;  $t_{i2}$  – teplota odváděného vzduchu za výměníkem



**Obr. 1.8 – Deskový výměník protiproud [15]**

V praxi se nejčastěji setkáváme s křížovými deskovými výměníky, kdy jejich účinnost sahá od 40 do 80 %. Existují i výměníky s účinností až 95 %. Účinnost výměníku je velice kolísavou charakteristikou, která závisí hlavně na velikosti teplosměnné plochy tudíž na velikosti výměníku. Kvalita, velikost i materiál výměníku jsou přímo úměrné ceně a je to jedno z několika zařízení obsažených v rekuperační jednotce, na kterém se nedoporučuje šetřit. Účinnost těchto zařízení se dá zvyšovat vyšší rychlostí proudění, či zdrsňením povrchu. Bohužel tyto úpravy vedou k vyšším tlakovým ztrátám [15].

Výměníky celkově nejsou připojeny na elektrický zdroj, kterým by se reguloval či vypnul průtok vzduchu. Deskové výměníky ani nedisponují žádnou mechanickou pohyblivou částí, která by regulaci zajišťovala. V našich klimatických podmínkách se dospívá do stavu, kdy je potřeba interiér chladit (hlavně v letním období, kdy je v noci teplota venkovního vzduchu nižší než v interiéru), proto jsou deskové výměníky osazeny tzv. bypassem (více v kapitole 1.2.5) [15].

Hlavní nevýhodou deskových výměníků je námraza, která se v našich klimatických podmínkách vyskytuje. Námraza je nežádoucí jev, přičemž vlhkost na stěnách

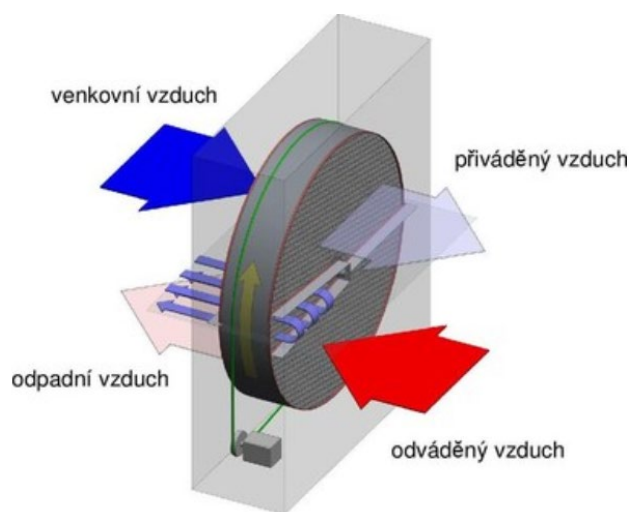
výměníku kondenzuje a zamrzá. Tím zamezuje přestupu tepla mezi tekutinami, a snižuje tedy účinnost výměníku. V extrémních případech může tento jev výměník poškodit nebo i zničit. Námraze můžeme předejít několika způsoby: instalací elektrického ohřívače na vstupu přírodního vzduchu (ohřívač přehřeje vzduch na teplotu okolo 5 °C), krátkodobým uzavřením přívodu vzduchu a využitím tepla z odpadního vzduchu k rozmrznutí námrazy nebo přivedení odpadního vzduchu i do prostoru pro čerstvý vzduch [15].

Tepelná trubice, která je naplněna chladivem (freon nebo čpavek), je hlavním prvkem rekuperačního výměníku. Tyto výměníky fungují na principu výparu a kondenzace chladiva. Jedna polovina trubice se nachází v prostoru pro teplý (odváděný) vzduch, kde chladivo odebírá teplo ze vzduchu a vypařuje se. Pára vlivem nižší hustoty stoupá do druhé poloviny trubice, která se nachází v prostoru studeného (přiváděného) vzduchu, kde pára chladiva odevzdává teplo chladnějšímu vzduchu. Pára zkondenzuje a stéká zpět do první poloviny trubice. Výměník k jeho práci nepotřebuje pohon. Bohužel se vyznačuje špatnou těsností. Tepelné trubice dosahují 65 % účinnosti [19].

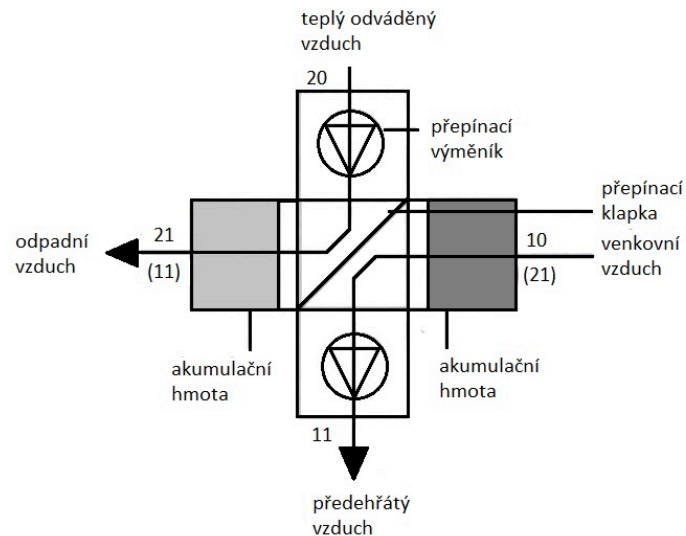
### Regenerační výměníky

Regenerační výměníky přenášejí teplo skrze akumulaci hmoty, která získává teplo z odpadního vzduchu a předává ho do chladnějšího čerstvého vzduchu. Proces regenerace umožňuje předávat citelné i vázané teplo. Výměníky jsou schopné dosahovat maximálních účinností až 90 % [16].

Tyto výměníky dosahují vysokých účinností díky větší teplosměnné ploše tvořené systémem kanálků, ve kterých má vzduch turbulentní proudění. Podle provedení akumulaci hmoty dělíme regenerační výměníky na rotační (viz obr. 1.9) a přepínací (viz obr. 1.10) [16].



Obr. 1.9 – Rotační výměník [17]



**Obr. 1.10 – Princip přepínacího výměníku [16]**  
10;11 – přiváděný vzduch, 20;21 – odváděný vzduch

U rotačních výměníků dochází k výměně tepla přes rotující akumulární hmotu, která mění svoji polohu a poskytuje stálé proudění vzduchu. Výměník se skládá z rotoru osazeného do kovového rámu. Rotor zajišťuje otáčení akumulární hmoty, která absorbuje teplo z odpadního vzduchu a předává ho do čerstvého vzduchu. Patrná nevýhoda tohoto zařízení tkví v dopravě obou vzduchů do instalovaného místa výměníku [16].

Jednotka s přepínacími výměníky se skládá ze dvou výměníků pevně osazených ve stálé poloze, kde se neustále mění směr proudění vzduchu. Neustálým přepínáním, které je zajištěno ovládací klakou, si vzduchy mění navzájem výměníky [16].

### 1.2.3 Filtrace vzduchu

Pro pohodu ve větraném prostoru se musí zajistit i požadovaná kvalita přiváděného vzduchu. Proto jsou kladeny velké nároky na filtry atmosférického vzduchu, nebo jinak nazývané vzduchové filtry, které jsou určeny k zachycení pevných nečistot, aerosolů a pachů, které by mohly poškozovat jak zdraví osob, tak i technický stav vzduchotechnických zařízení [6], [16].

Filtry dělíme na:

- **atmosférické** – zachycování tuhých znečišťujících látek, kvalitu vzduchu stanovuje nařízení vlády č. 6/2003 Sb. [7],
- **sorpční** – zachycování plyných škodlivých látek a pachů [16].

Pevné znečišťující částice mají výrazný vliv na chod komponentů větracích jednotek, zejména na rekuperační výměníky tepla, kde prach a jiné látky zanášejí teplosměnné

plochy a snižují tak účinnost výměníků. Tyto znečišťující částice mají odlišné velikosti, a mají tedy potenciál k procházení přes filtry. Interval velikosti je řádově od 0,01 až 100  $\mu\text{m}$  [6], [16].

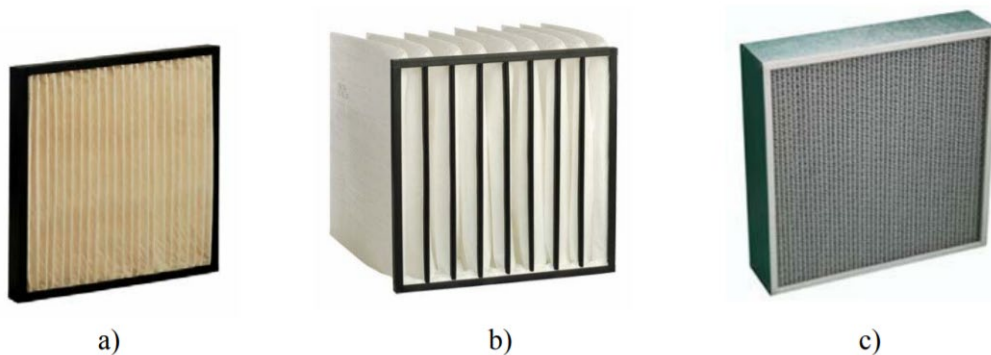
Filtry dále dělíme dle hustoty separační hmoty:

- hrubé (označení G),
- jemné (F),
- HEPA (H),
- ULPA (U) [16].

Tyto filtry jsou schopné separovat látky ze vzduchu od velikostí  $>10 \mu\text{m}$  (hmyz, listí, vlasy, textilní vlákna – třída G) po velikosti mikročástic a virů (třída U) [16].

Se zvyšujícími nároky na vlastnosti filtrů se mění struktura materiálů, které musejí mít vyšší jímavost a rychlost filtrace. Tím se zvyšují tlakové ztráty a od nich se odvíjí velikosti filtrů podle průtoku vzduchu jednotkou. Tyto náležitosti se odráží v provedení filtrů. Jedná se o vložkové a pásové filtry. Ve vzduchotechnických jednotkách s rekuperací se nejčastěji setkáváme s vložkovými filtry, které můžeme dále dělit podle provedení:

- deskové,
- kapsové,
- kazetové (viz obr. 1.11) [7].



**Obr. 1.11 – Druhy filtrů [9]**

**a)** vložka deskového filtru; **b)** kapsový filtr; **c)** kazetový filtr [7], [9]

Materiály filtrů se vyrábějí ze syntetických, skleněných a celulosových vláken, které jsou spojovány impregnací, tepelným zpracováním, vpichováním a papírenskou technologií [9].



## Sorpční filtry

Sorpční filtry se používají pro separaci nežádoucích plynných látek, pachů, par a jiných látek ze vzduchu pomocí adsorpčního procesu, kdy hlavní roli v čištění vzduchu hraje difúze, která napomáhá pevným látkám zachytávat plynné látky. Tuto metodu používají filtry s tzv. aktivním uhlím. Pod pojmem aktivní uhlí si můžeme představit koks, saze nebo rašelinu [9], [7].

Filtry s aktivním uhlím jsou náchylné na prachové částice, a proto aby se zabránilo zanášení filtrů a tlakovým ztrátám, je doporučeno instalovat spolu s těmito filtry účinné předfiltry F7 [7].

Konstrukce sorpčních filtrů se skládá zejména z válcových patron (s aktivním uhlím). Patrony jsou nasazené na základovou desku a jejich počet určuje velikost filtru [7].

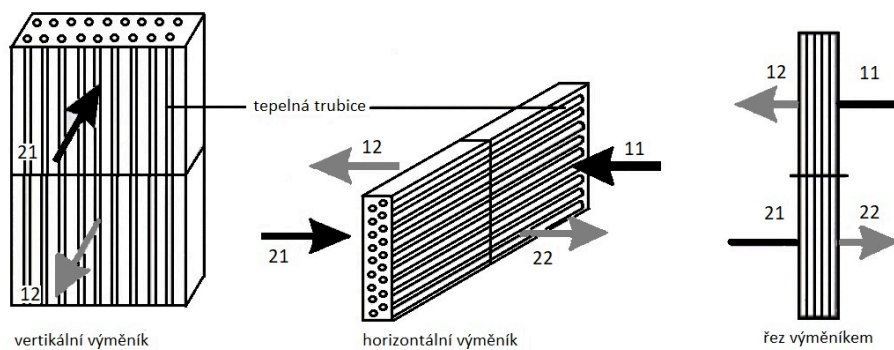
### 1.2.4 Ohřev vzduchu

Ohřev je první úprava, kterou vzduch musí podstoupit z celého procesu úprav. Tato úprava hraje významnou roli ve zvyšování účinnosti, ochraně před poškozením, nebo zničením rekuperačního výměníku. Česká republika se nachází v klimatickém prostředí, kdy teploty okolí sahají někdy pod bod mrazu. To má za následek vznik námrazy ze vzdušné vlhkosti obsažené v odpadním vzduchu ve výměníku tepla, kde zamezuje přestupu tepla a tím značně snižuje účinnost výměníku. Je tedy nutné, aby v těchto podmínkách byl čerstvý přírodní vzduch před vstupem do větrací jednotky přehříván.

K ohřevu se využívají elektrické ohřivače nebo trubkové výměníky tepla (lamelové nebo žebrované trubky). Ohřivací médium v těchto výměnících je z pravidla voda, někde se může vyskytovat pára, nebo kondenzující páry chladiva. Při ohřevu se nemění stav měrné vlhkosti, mění se pouze entalpie vzduchu [9], [1].

### Trubkové výměníky

Trubkové výměníky (viz princip trubkového výměníku na obr. 1.12) jsou používány jen pro situace, kdy je vyšší riziko námrazy, nebo v případech, kdy hrozí výskyt většího množství částic, které by běžné výměníky ucply. Trubky se vyrábějí buď jako kruhové, nebo rozválcované oválné. Rozválcované oválné jsou nejvýhodnější, protože dochází k lepší průtočné rychlosti a klesá odpor. Při používání trubkových výměníků je třeba zaručit rychlost proudění vody minimálně 0,7 m/s, aby se dostatečně zamezilo zamrznutí. Povrch trubek na straně vzduchu je relativně malý na to, aby teplotní rozdíl mohl vzrůst o 15 až 20 K, proto má výměník velké množství trubek [6].



**Obr. 1.12 – Princip trubkového výměníku tepla [16]**  
11;12 – přiváděný vzduch, 21;22 – odváděný vzduch

### Elektrické ohřívače

Elektrické ohřívače (viz obr. 1.13) jsou vhodné, pokud není k dispozici jiný zdroj tepla nebo jako doregulování topného výkonu. Skládají se z malých topných článků, které dosahují výkonu až 3 kW a dle potřeby se mohou vytvarovat pro požadovaný tvar [6].



**Obr. 1.13 – Elektrický ohřívač [20]**

Elektrické ohřívače disponují několika nevýhodami, jako je např. vyšší pořizovací cena nebo nedostatečná regulace. Regulovat topný výkon lze pouze zapnutím nebo vypnutím ohřívače. Při časté aktivaci a deaktivaci dochází ke stárnutí (rekrytalizaci) odporových drátů a tepelné dilataci, to má za následek výrazné snížení životnosti. Odporové dráty jsou většinou vyrobeny ze slitin obsahujících nikl, železo, chróm, mangan, hliník a kobalt [6].

Proti poklesu životnosti se musí zavést určitá opatření, která by měla být dodržována. Týká se to hlavně povrchové teploty ohřívače, která by neměla přesahovat více než 350 °C, omezení činnosti ohřívače, při vzdušné vlhkosti nad 60 % a rychlost proudění vzduchu musí být minimálně 1,5 m/s [6].

Charakteristika ohřivačů je dána tepelným výkonem  $\dot{Q}$  [W] viz rovnice (1.7).

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1), [W] \quad (1.7)$$

Kde:

$\dot{Q}$	[W]	tepelný výkon,
$\dot{V}$	[m <sup>3</sup> /s]	objemový průtok vzduchu,
$\rho$	[kg/ m <sup>3</sup> ]	hustota vzduchu
$c$	[J/kg · K]	měrná tepelná kapacita,
$t_{1,2}$	[°C]	vstupní a výstupní teplota vzduchu ve výměníku [16].

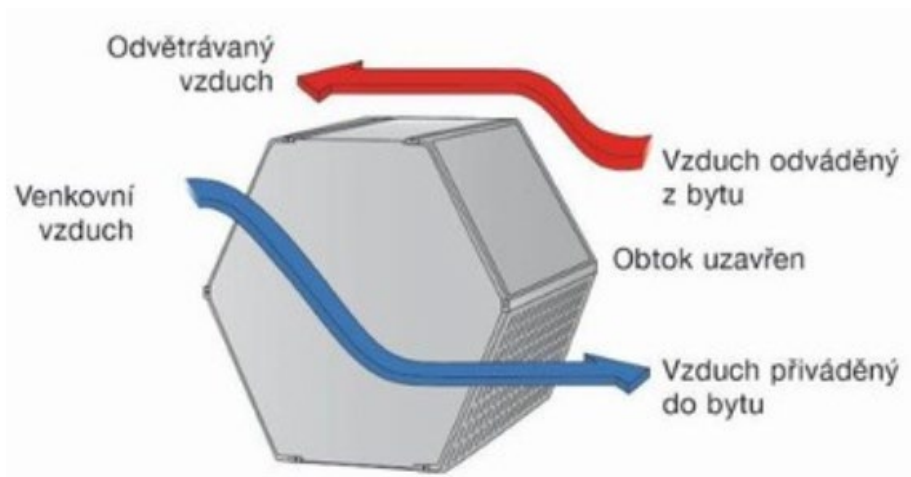
### 1.2.5 Chlazení vzduchu

Léto je období, kdy jsou budovy vystaveny intenzivnímu slunečnímu záření, a to vede k velkým tepelným ziskům. Tyto tepelné zisky je dobré držet na úrovni pro udržení tepelné pohody uvnitř budov. To lze zařídit chlazením přiváděného vzduchu. Aby vzduch byl ochlazen před tím, než je distribuován do místnosti, musí svoje teplo odevzdat. To nám umožňují výměníky tepla, kterou jsou zabudované uvnitř vzduchotechnické jednotky nebo mimo ni [9].

Výměníky tepla pro chlazení jsou z velké části vyráběny z lamelových trubek. Teplonosné látky jsou buď voda nebo chladivo (fluorethany, čpavek). Ve výměnících při chlazení vzduchu dochází ke kondenzaci vodní páry a část chladicího výkonu je spotřebována na kondenzaci a předána kondenzátu. Platí tedy, čím vyšší je vlhkost a chladicí výkon, tím více bude zkondenzované vody. Vzniká tedy riziko námrazy (viz kapitola 1.2.2). Pro snížení tohoto problému jsou lamely konstruovány tak, aby ovlivňovaly průchod vzduchu, bere se tedy zřetel na tvar a vzdálenost lamel. Lamelové výměníky jsou konstruovány a sestavovány do vertikální polohy, aby gravitačním působením docházelo k odvodu kondenzátu [16].

Výparníkové chlazení se používá jen výjimečně u speciálních systému, malých výkonů nebo pro chlazení na záporné teploty. Lamely jsou osazovány s velkou roztečí a to proto, že přestup tepla chladiv je celkem nízký [6].

Často se ve větracích jednotkách setkáváme s tzv. bypassem (viz obr. 1.14) s uzavírací klapkou, kdy se zamezí výměně tepla mezi čerstvým (chladným) vzduchem a odpadním (teplým) vzduchem. Oba vzduchy výměník obchází, aby nedošlo k výměně tepla. Toto řešení se využívá hlavně v letním období a v nočních hodinách, kdy je venkovní vzduch chladnější než v budově. Z hlediska konstrukce a finanční náročnosti, je tento způsob chlazení nejideálnější [15], [21].



Obr. 1.14 – Princip bypassu [21]

Charakteristika popisující chladicí výkon výměníku popisuje rovnice (1.8).

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho \cdot (h_2 - h_1) \quad (1.8)$$

Kde:

$\dot{Q}$	[W]	tepelný výkon,
$\dot{V}$	[m <sup>3</sup> /s]	objemový průtok vzduchu,
$\rho$	[kg/ m <sup>3</sup> ]	hustota vzduchu,
$h_{1,2}$	[J/kg]	vstupní a výstupní entalpie vzduchu ve výměníku [16].

## 1.2.6 Regulace a ovládání

Větrací jednotky jsou navrhované tak, aby byly schopné distribuovat do větraného prostoru požadované množství vzduchu o požadované kvalitě. Požadované množství a kvalita vzduchu jsou parametry, které musí být definovány v řídicí jednotce. Řídicí jednotka je systém, jenž vyhodnocuje hodnoty poslané ze snímacích čidel měřící parametry vzduchu. Řídicí jednotka tyto informace porovnává se zadanými podmínkami, které definuje spotřebitel.

Snímací čidla napomáhají řídicí jednotce se orientovat v daných situacích, kdy má přiváděný/odváděný vzduch své kvalitativní vlastnosti závislé na klimatických nebo vnitřních podmínkách. Snímače nejčastěji sledují úroveň vlhkosti, teploty, tlaku či hladinu CO<sub>2</sub>. Tyto informace musí umět řídicí jednotka vyhodnotit a podle toho vzduch upravit a poslat do místnosti.

Řídicí jednotky nevyhodnocují pouze kvalitu vzduchu, ale zabývají se i distribuovaným množstvím vzduchu. Dodávka patřičného objemu vzduchu do místností se ve většině případů liší a je tedy nutnost regulovat jeho průtok. To je

prováděno regulačními klapkami, ventily nebo regulací pomocí ventilátorů (viz kapitola 1.2.1).

Mezi další funkce řídicích jednotek patří monitorování stavů zařízení, jako např.: ventilátorů, filtrů, požárních klapek, výměníků, dále upozornění na poruchy nebo kompletní přehled stavů ve větrací jednotce [16].

Řízení rozdělujeme na tři základní typy:

- **Ovládání** – systém, který nemá zpětnou vazbu (sepnutí/vypnutí zařízení), a tedy neumí hodnotit poruchy systému [16].
- **Ruční regulace** – do systému se nadefinují požadované hodnoty a měřící čidla měří reálnou hodnotu, následně se udělá mezi těmito hodnotami rozdíl, který se nazývá „regulační odchylka“. Tuto odchylku si pak člověk reguluje sám pomocí uzavírání/otevírání klapek nebo ventilů [16].
- **Automatická regulace** – tento systém je dnes v praxi nejčastěji využíván a obsahuje automatický regulační systém, který dokáže rozlišit poruchy nebo nastavit regulační odchylku [16], [6].

Senzory kvality vzduchu:

- **Termostaty** – jsou senzory, které sbírají teplotní data v prostorách budov a následně jsou odesílány do řídicí jednotky. Senzory teploty jsou spíše používány v otopných soustavách nebo pokud vytápíme interiér teplým vzduchem. Aplikace termostatů je doporučena do místností, kde je větší koncentrace osob [22].
- **Hygrostaty** – jsou to senzory pro určení hladiny vlhkosti v prostorách budov, nebo měřící úroveň vlhkosti venkovního vzduchu přiváděného do větrací jednotky. Tyto senzory, stejně jako termostaty, sbírají data, která jsou následně poslána do řídicí jednotky [22].
- **Čidla CO<sub>2</sub>** – jsou používány pro určení množství CO<sub>2</sub> uvnitř větrané místnosti. Jak je známo, oxid uhličitý patří mezi škodlivé emisní plyny a je nutno hlídat jeho koncentraci ve vzduchu. Tato čidla jsou instalována do větrané místnosti (ložnice nebo obývacího pokoje) a, pokud možno, co nejdál od přívodu vzduchu [22].

Senzory kvality vzduchu jsou v praxi často slučovány do jednoho zařízení, které je umístěno ve větraném prostoru. Tyto alternativy jsou praktičtější než samostatné hygrostaty, termostaty nebo čidla CO<sub>2</sub> ale jsou finančně nákladnější. Výrobci často doporučují nebo i sami přidávají tato zařízení ke vzduchotechnické jednotce, což zvyšuje cenu samotné jednotky. Dnešním trendem je využití bezdrátových zařízení, jež předávají informace řídicí jednotce na dálku. (viz obr. 1.15).



Obr. 1.15 – AIRSENS – RF – RH bezdrátové inteligentní čidlo RH [23]

### 1.2.7 Potrubí a jeho elementy

Vzduchotechnické větrací jednotky jsou zařízení, jež využívají vzduch, jako distribuční médium. Ten však musí být do jednotky přiveden/odveden. Tuto funkci zprostředkovává potrubí. Potrubí, nebo také vzduchovody, jsou součástí vzduchotechnických zařízení, pro dopravu vzduchu, které vedou od vzduchotechnické jednotky do větrané místnosti. Vzduchovody tvoří hlavní síť distribuce vzduchu v budovách.

Potrubí se vyrábí ve dvou průřezových variantách, a to v kruhové a čtyřhranné variantě. U kruhového potrubí je při jeho výrobě menší spotřeba materiálu a při provozu dochází k menšímu zanášení prachovými částicemi a TZL (tuhými znečišťujícími látkami) než u čtyřhranného potrubí. Čtyřhranné potrubí se lépe přizpůsobuje stavbě a výroba tvarových kusů je mnohem snazší nežli u kruhového potrubí. Oba typy potrubí v praxi mají své uplatnění, objevují se potrubní sítě zhotovené pouze z kruhového průřezu, čtyřhranného průřezu nebo jejich kombinací [7].

Vzduchovody lze dělit dle materiálu:

- **Ocelové, pozinkované potrubí** – nejčastějším zástupcem tohoto typu potrubí je tzv. SPIRO potrubí. Toto potrubí je vyráběno z pozinkovaného ocelového plechu o tloušťce 0,5-3 mm, které je navíjeno do kruhového průřezu. SPIRO potrubí je často aplikováno do potrubní sítě s vyššími rychlostmi (viz obr. 1.16) [7], [9].



Obr. 1.16 – SPIRO potrubí [23]

- **Flexibilní hadice z hliníkové fólie** – jsou univerzální, lehčí, s dobrými mechanickými a izolačními vlastnostmi. Pro jejich výhody jsou nejčastěji používány u hygienických zařízení (kde nelze provádět pravidelnou kontrolu potrubí), nebo jako spojovací prvek mezi SPIRO potrubím a distribučním elementem (talířové ventily, digestoř atd.). Viz obr. 1.17 [23], [7], [16].



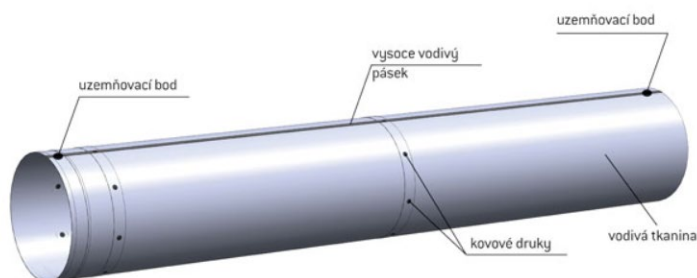
Obr. 1.17 – ALUFLEX HYGIENIC [23]

- **Ohebné hadice z PVC, PE** – jsou hadice, které se využívají pro stejné účely jako flexibilní hadice z hliníkové fólie. Více se hodí pro odsávání vzduchu s agresivními látkami (viz obr. 1.18) [16].

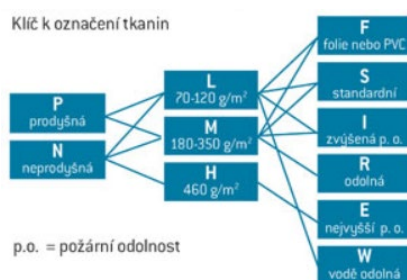


Obr. 1.18 – ED flex potrubí [23]

- **Textilní potrubí** – se vyznačují především svojí lehkostí, manipulovatelností a snadným čištěním (viz obr. 1.19). Tomuto potrubí nečiní problém přechod z kruhového průřezu na půlkruhový a zpět na kruhový průřez (dobré přizpůsobení konstrukci budovy). Materiál je navržený tak, aby byl odolný vůči protržení, ohni a vlhkosti. Potrubí je vyráběno z více variant materiálů, které nesou své označení. Nejčastěji se můžeme setkat s označením materiálu PMS, NMS, PMI, NMI, kde každé písmeno v označení představuje jednu ze tří vlastností (prodyšnost, hmotnost, odolnost viz obr. 1.20) [24], [25].



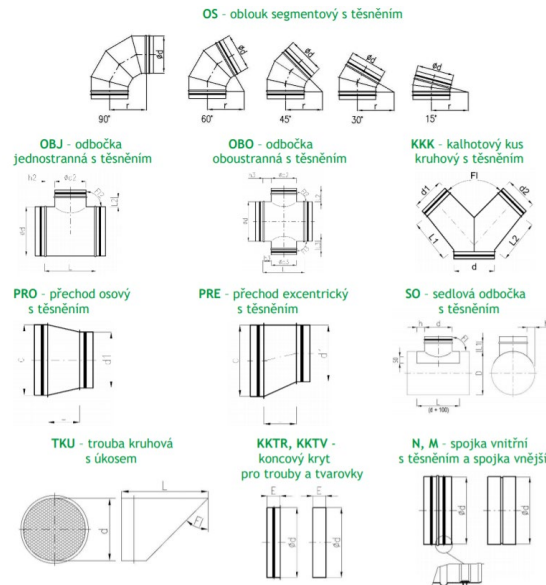
Obr. 1.19 – Schéma textilního potrubí [25]



Obr. 1.20 – Označení vlastností materiálu [25]

Projektanti, kteří navrhují potrubní sítě, se často potýkají s členitou stavbou, ve které musí vzduchovody přizpůsobit konstrukci stavby. Proto musí navrhovat tvarovky tak, aby byly co nejvhodnější pro danou situaci. Tvarovky, nebo též tvarové kusy, jsou části potrubí, jež umožňují vzduchovodům se dále větvit, tvořit přechod z kruhového průřezu na čtyřhranný nebo měnit směr o požadovaný úhel (viz obr. 1.21).





Obr. 1.21 – Druhy tvarových kusů [39]

Mezi další části vzduchovodů patří regulační, tlumící a ochranné prvky, které napomáhají k lepší stabilizaci vzduchu v potrubí nebo k zamezení jeho poškození. Při konstruování potrubí musí dané situace vyhodnotit projektant, který předem ví, jakou funkci větrané místnosti plní a podle toho navrhne, jaké prvky zvolit.

Do základních potrubních elementů zahrnujeme:

- **Regulační klapky** – udržují konstantní objemový průtok vzduchu [16].
- **Zpětné klapky** – slouží k zamezení případného přisávání vzduchu z jiných místností (např. přisávání vzduchu z WC do ložnice) [16].
- **Požární klapky** – využívají se k zamezení šíření požáru nebo spalin do dalších sektorů [16].
- **Tlumiče hluku** – jsou zařízení, která zabraňují šíření hluku do okolních místností (viz obr. 1.22) [16].



Obr. 1.22 – Tlumič hluku pro kruhové potrubí [23]

Vzduchovody jsou v častých případech vystavovány podmínkám, kdy je zapotřebí jejich konstrukci doplnit o izolaci a zamezit tak ochlazení vzduchu v potrubí nebo

případné kondenzaci na povrchu potrubí. Pro izolace se používají desky, rohože z minerální vlny nebo z pěnového polyetyleny [16].

Izolace můžeme rozdělit do tří skupin:

- **Tepelná izolace** – je instalována na potrubí, k zamezení přestupu tepla ze vzduchu proudícího v potrubí do okolní místnosti a naopak. Tím se také zamezuje srážení vzdušné vlhkosti, která by časem mohla poškodit potrubí. Tloušťka izolace, která se pohybuje od 40 až 100 mm, je závislá na teplotě vzduchu a jeho rosného bodu [16], [7].
- **Protihluková izolace** – se používá zejména tam, kde hrozí narušování akustické pohody ve větraných místnostech. Je známo, že vzduch je hlučné médium a při vyšších rychlostech proudícího vzduchu může být hluk až nepříjemný [16].
- **Protipožární izolace** – je využita k zamezení požáru nebo předávání tepla do přiváděného vzduchu, který je dále distribuován do požárem nepostižených zón. Tato izolace může v některých situacích nahradit požární klapky [16].

Při navrhování potrubních sítí se musí počítat s tlakovými ztrátami, které ventilátory vzduchotechnické jednotky musí překonávat. Hlavní tlakové ztráty způsobuje převážně potrubí a jeho části. Jelikož vzduchovody mají určitou drsnost povrchu, dochází ke tzv. třecím ztrátám. Ke třecí ztrátě přispívají také tvarovky potrubí, takovou ztrátu nazýváme vřazené odpory. Celkovou tlakovou ztrátu jsme schopni získat z následující rovnice (viz rovnice (1.9)):

$$\Delta p_z = \lambda \cdot \frac{L \cdot w^2}{d \cdot 2} \cdot \rho + \sum \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (1.9)$$

Kde:

$\Delta p_z$	[Pa]	tlaková ztráta,
$\lambda$	[1]	součinitel odporu třením,
$L$	[m]	délka potrubí,
$d$	[m]	průměr potrubí,
$w$	[m/s]	rychlost proudění vzduchu,
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	hustota vzduchu,
$\xi$	[1]	součinitel vřazeného odporu [16].

Návrh potrubí by se měl držet několika aspektů (izolace, tlakové ztráty a rychlost). Rychlost proudění vzduchu má jistý vliv na hluk a kondenzaci vlhkosti. Proto rychlost vzduchu závisí i na velikosti průřezu potrubí. Při návrhu vzduchovodů pro nízkotlakové systémy by rychlost vzduchu v hlavním rozvodu neměla přesahovat hodnoty 6 až 8 m/s a v odbočkách 3 až 5 m/s [7].

### 1.2.8 Koncové prvky

Koncové prvky jsou nezbytnou součástí potrubní sítě využité jak v interiéru, tak v exteriéru, pro přívod nebo odvod vzduchu. Distribuční elementy, nainstalované ve větraných místnostech, jsou konstruovány tak, aby cíleně zajišťovaly účinné proudění přiváděného vzduchu. Zato koncové prvky v exteriéru jsou navrhovány tak, aby jejich konstrukce odolávala a zamezovala vnikání nežádoucích přírodních jevů do potrubní sítě [16].

Instalace koncových prvků v místnostech je důležitým faktorem pro zachování mikroklimatu v interiéru. Zamezuje se tím vzniku nežádoucí akumulace odpadního vzduchu a zajišťuje se jeho účinná výměna s čerstvým vzduchem.

Koncové prvky dělíme na dvě základní skupiny:

#### Distribuční prvky

Pod tímto pojmem si lze představit koncové elementy zabudované na ústí potrubní sítě uvnitř větraného prostoru. Tyto prvky jsou nedílnou součástí celého systému a závisí na nich efektivnost provětrání prostoru.

Pro ukončení potrubí se nejčastěji používají talířové ventily, výustky, anemostaty, podlahové a stěnové mřížky. Přívodní a odvodní distribuční prvky lze instalovat do stěny, na strop nebo do podlahy. Každý koncový prvek musí být vybaven regulací, která umožní změnu charakteristiky proudění vzduchu nebo úpravu objemového průtoku [7], [16].

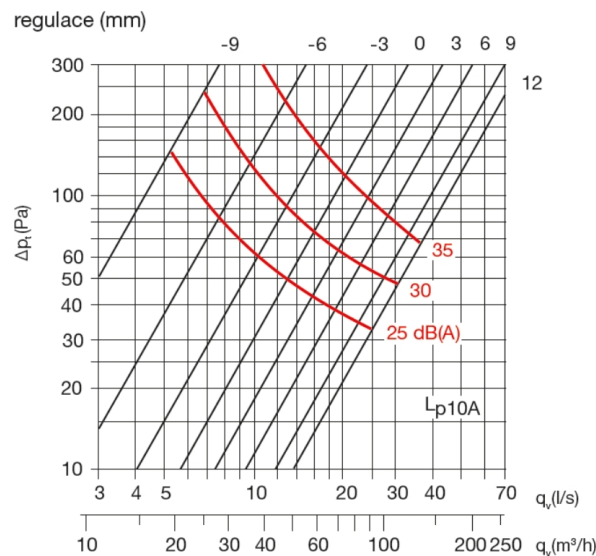
U rodinných domů nebo bytů se nejčastěji používají talířové ventily (viz obr. 1.23). Ty jsou pro tyto účely nejvhodnější z hlediska nízkotlakého systému, menších dodávek objemového průtoku (10 až 200 m<sup>3</sup>/h) a relativně nízké ceny. Vyrábí se v kovovém nebo plastovém provedení [23].



Obr. 1.23 – Talířový ventil KO 100 [23]

Talířové ventily se skládají ze vstupního kužele osazeného těsněním pro montáž do potrubí a také z disku našroubovaného do středu kužele. Diskem se následně reguluje průtok vzduchu a mění se tím charakteristika proudu. Tyto koncové elementy

přispívají ke značné tlakové ztrátě, která má za následek vyšší hladinu hluku. Množství hluku závisí na průtoku a délce zašroubování ventilu (viz obr. 1.24) [7].



**Obr. 1.24 – Charakteristika hluku talířového ventilku KO 100 [23]**

Kde:

$\Delta p_t$  – tlaková ztráta,  $L_{p10A}$  – hladina hluku,  $q_v$  – objemový průtok.

Anemostaty jsou dalším nejčastěji používaným distribučním prvkem (viz obr. 1.25), se kterými se lze setkat převážně v místnostech s požadavkem pro větší dodávku objemového průtoku vzduchu. Anemostaty jsou tvořené z rozšiřujících se prstenců nebo ze systematicky poskládaných výtokových lamel, tvořících průduchy pro vzduch [7].



**Obr. 1.25 – Vířivý anemostat [20]**

Objemový průtok v anemostatech je nastaven regulačním ústrojím, proto tyto koncové prvky disponují rovnoměrným přívodem vzduchu. Jejich rozsah průtoků činí 150 až 2010 m<sup>3</sup>/h [7], [23].

---

### **Nasávací a výfukové prvky**

Z hlediska exteriéru se používají nasávací a výfukové prvky ve formě stříšek, hlavic nebo žaluzií. Konstrukce těchto elementů je speciálně navržena tak, aby nedocházelo k vnikání nežádoucích těles nebo vody do přiváděného/odváděného potrubního systému.

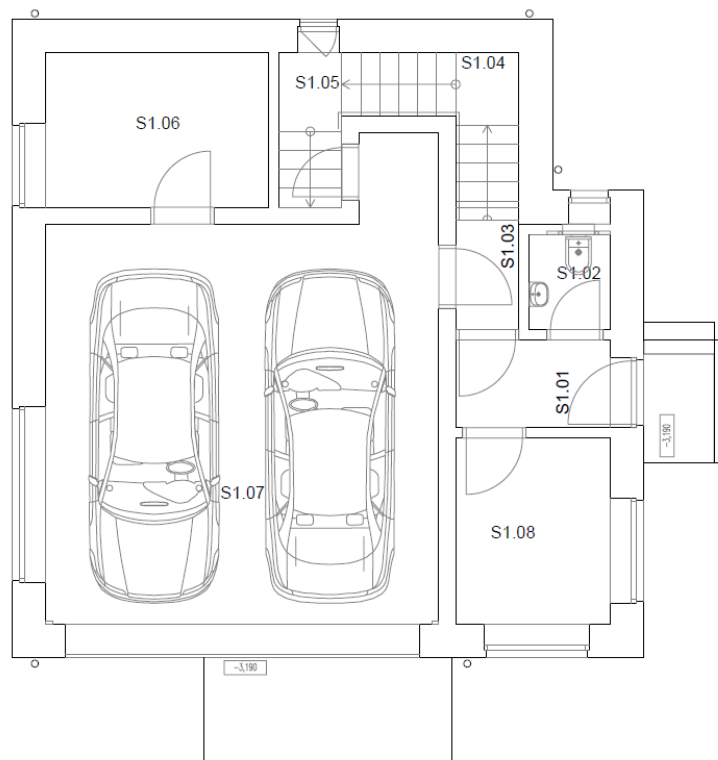
Velmi často se používají tzv. protidešťové žaluzie (viz obr. 1.26), které lze umístit na střechu nebo do zdi. Žaluzie jsou tvořeny rámem osazeným několika šikmými listy (lamelami), které tak brání dešti či jiným tělesům vniknout do vertikálního potrubního systému. Jsou vhodné jak pro přívod, tak pro odvod vzduchu. Žaluzie jsou převážně konstruovány z hliníkových, ocelových (pozinkovaných) profilů nebo plastu [7], [16].



***Obr. 1.26 – Plechová protidešťová žaluzie PDZM [36]***

## 2 Volba rekuperační jednotky

Pracovní parametry rekuperační jednotky se navrhují pro třípatrový dům, který je obydlen pěti osobami (dva dospělí a tři děti). Patra rozdělují rodinný dům na tři zóny, které mají svou funkci. První zóna, neboli 1. PP<sup>1</sup> (viz obr. 2.1), se z cca 2/3 skládá z garáže a technické místnosti. Proto je toto patro určeno převážně pro technické účely. Druhá zóna, neboli 1. NP<sup>2</sup> (viz obr. 2.2), se skládá z větší části ze společné kuchyně s obývacím pokojem. Tato místnost je určena pro společenské akce. Třetí zóna, neboli 2. NP<sup>3</sup> (viz obr. 2.3), se skládá převážně ze tří pokojů, které slouží pro pobyt dětí. Více informací o místnostech jsou popsány v tab. 2.1.

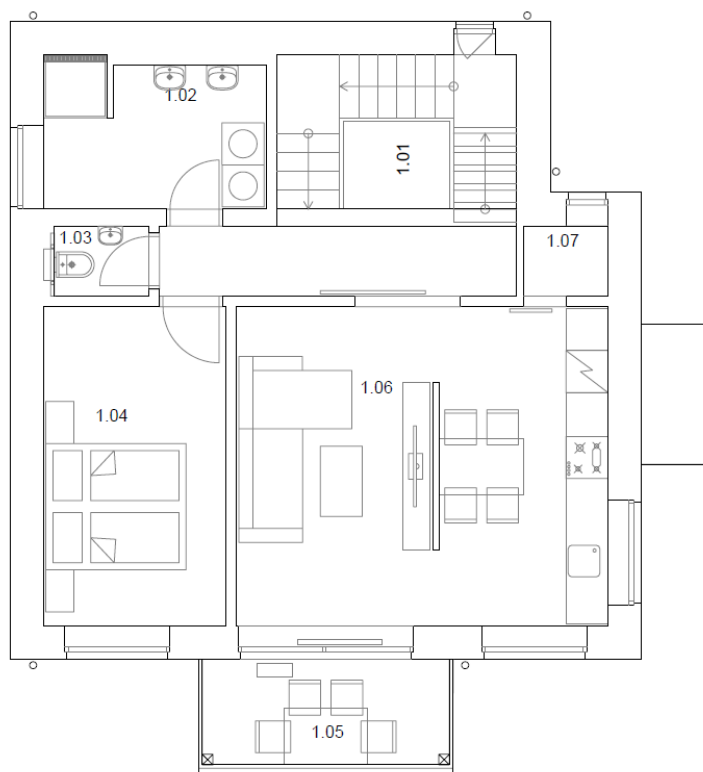


Obr. 2.1 – Výkresová dokumentace 1. PP

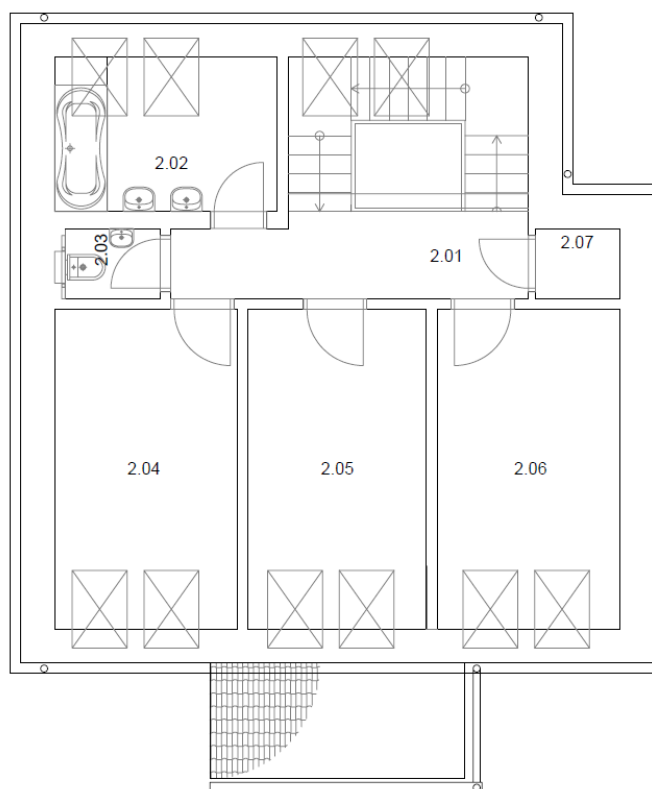
<sup>1</sup> 1. podzemní patro

<sup>2</sup> 1. nadzemní patro

<sup>3</sup> 2. nadzemní patro



**Obr. 2.2 – Výkresová dokumentace 1. NP**



**Obr. 2.3 – Výkresová dokumentace 2. NP**

Tab. 2.1 – Legenda místností

Číslo místnosti	Název místnosti	Plocha [m <sup>2</sup> ]	Objem [m <sup>3</sup> ]
S1.01	Zádveří	2,75	7,7
S1.02	WC	1,55	4,34
S1.03	Chodba	1,4	3,92
S1.04	Schodiště	5,58	40,73
S1.05	Komora	1,98	5,54
S1.06	Technická místnost	6,97	19,52
S1.07	Garáž	33,4	93,52
S1.08	Pracovna	5,83	16,32
1.01	Chodba	13,43	35,32
1.02	Koupelna	6,57	17,28
1.03	WC	1,35	3,55
1.04	Ložnice	11,83	31,11
1.05	Terasa	5,28	13,88
1.06	Obývací Pokoj/Kuchyně	24,07	63,3
1.07	Spíž	1,2	3,16
2.01	Chodba	13,43	42,71
2.02	Koupelna	6,97	10,25
2.03	WC	1,35	4,29
2.04	Pokoj 1	11,83	30,97
2.05	Pokoj 2	11,56	30,25
2.06	Pokoj 3	11,83	30,97
2.07	Komora	1,2	3,82
Celkem		181,36	512,45

## 2.1 Požadavky na větrání

Větrací jednotka musí být zvolena tak, aby splňovala navržené podmínky mikroklimatu pro nucené větrání, které jsou stanoveny dle vyhlášky č. 6/2003 Sb. a vyhlášky č. 268/2009 Sb. Tyto vyhlášky udávají přehled o minimálních hodnotách kvality vzduchu uvnitř větrací místnosti [26].

Základní podmínky pro mikroklima interiéru dle vyhlášek č. 6/2003 Sb., č. 268/2009 Sb.:

- **Teplota vzduchu v interiéru** – je stanovena v létě od 22 do 26 °C a v zimě od 20 do 24 °C [27].
- **Relativní vlhkost vzduchu** – hraniční hodnoty jsou určeny od 40 do 70 %, kdy doporučená hladina je 50-65 % [27].



- **Koncentrace CO<sub>2</sub>** – je stanovena maximální hranice 1500 ppm, která nesmí být překročena [28].
- **Intenzita výměny vzduchu** – pro účinné nucené větrání je výměna vzduchu určena od 0,3 do 0,7 h<sup>-1</sup>, kdy doporučená výměna je 0,5 h<sup>-1</sup> [28].

## 2.2 Množství vzduchu

Volba rekuperační jednotky se odráží od součtu jednotlivých objemových průtoků vzduchu do větraných místností. Základní parametry distribuce/odvodu vzduchu stanovuje norma ČSN EN 15665/Z1, která udává tyto podmínky pro obytné a hygienické místnosti (viz tab. 2.2) [26].

**Tab. 2.2 – Požadavky na větrání obytných prostorů dle ČSN EN 15665/Z1 [26]**

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

V zadaném rodinném domě je nutné zajistit přívod čerstvého vzduchu do obytných místností, jako jsou dětské pokoje, ložnice, pracovny a obývací pokoj. To samé platí i pro odtah znehodnoceného vzduchu z hygienických prostorů domu, jako jsou např. koupelny, WC a kuchyně. Objemový průtok lze navrhnout dle dvou stanovisek uvedených v tabulce (viz tab. 2.2).

První stanovisko umožňuje návrh objemové průtoky dle intenzity výměny vzduchu, a to pro minimální výměnu 0,3-0,5 h<sup>-1</sup>. V obytných místnostech se návrh množství vzduchu bude řídit dle normy ČSN EN 15665/Z1 a pro hygienické prostory se návrh bude řídit dle normy ČSN EN 12831-1, která stanovuje intenzitu výměny 1,5 h<sup>-1</sup>. Vypočtené hodnoty množství vzduchu uvádí tab. 2.3.

**Tab. 2.3 – Stanovení množství vzduchu dle doporučené intenzity výměny 1,5 h<sup>-1</sup>**

Číslo místnosti	Název místnosti	Přívod vzduchu [m <sup>3</sup> /h]	Odvod vzduchu [m <sup>3</sup> /h]
S1.02	WC	-	20
S1.08	Pracovna	10	-
1.02	Koupelna	-	30
1.03	WC	-	10
1.04	Ložnice	20	-
1.06	Obývací Pokoj/Kuchyně	100	100
2.02	Koupelna	-	20
2.03	WC	-	10
2.04	Pokoj 1	20	-
2.05	Pokoj 2	20	-
2.06	Pokoj 3	20	-
Celkem		190	190

Druhé stanovisko uvádí navržení množství vzduchu dle počtu osob v obytných místnostech a doporučený objemový průtok pro hygienické místnosti. Následující tab. 2.4 zahrnuje doporučené hodnoty, řídící se podle normy ČSN EN 15665/Z1, pro distribuci či odtah do jednotlivých místností.

**Tab. 2.4 – Stanovení doporučeného množství vzduchu**

Číslo místnosti	Název místnosti	Přívod vzduchu [m <sup>3</sup> /h]	Odvod vzduchu [m <sup>3</sup> /h]
S1.02	WC	-	50
S1.08	Pracovna	25	-
1.02	Koupelna	-	90
1.03	WC	-	50
1.04	Ložnice	100	-
1.06	Obývací Pokoj/Kuchyně	200	150
2.02	Koupelna	-	90
2.03	WC	-	50
2.04	Pokoj 1	35	-
2.05	Pokoj 2	35	-
2.06	Pokoj 3	35	-
Celkem		430	430

Finální návrh množství vzduchu se ohlíží na vytíženost jednotlivých místností a jejich využití. Podle těchto informací se dále upravuje množství vzduchu tak, aby bylo co nejeekonomičtější a současně splňovalo minimální hodnoty výměny (viz tab. 2.5).

**Tab. 2.5 – Navržené množství vzduchu**

Číslo místnosti	Název místnosti	Přívod vzduchu [m <sup>3</sup> /h]	Odvod vzduchu [m <sup>3</sup> /h]
S1.02	WC	-	35
S1.08	Pracovna	35	-
1.02	Koupelna	-	70
1.03	WC	-	40
1.04	Ložnice	50	-
1.06	Obývací pokoj/Kuchyně	150	90
2.02	Koupelna	-	50
2.03	WC	-	40
2.04	Pokoj 1	30	-
2.05	Pokoj 2	30	-
2.06	Pokoj 3	30	-
Celkem		325	325

### Odůvodnění návrhu objemového průtoku

V 1. PP je zapotřebí větrat pouze pracovnu s WC.

- **Pracovna** – je ze všech větraných místností v budově nejméně využívána, proto postačí přivádět téměř minimum vzduchu.
- **WC** – je oproti ostatním záchodům v nadzemních patrech nejméně využívané, ale pro zamezení průniku znehodnoceného vzduchu z garáže a záchodu do 1. NP, je navržen doporučený odvod.

V 1.NP je zapotřebí větrat kuchyň/obývací pokoj, ložnici, WC a koupelnu. Toto patro patří mezi nejvíce vytížené.

- **Kuchyně/obývací pokoj** – Množství vzduchu pro kuchyň (viz tab. 2.5) je navržena dle největšího potenciálu pojmout větší množství osob. Dalším důvodem je potřeba odvodu vzduchu znehodnoceného výparů z vaření, protože pro zachování rovnotlakého větrání je použita recirkulační digestoř.
- **Ložnice** – je obývána dvěma dospělými osobami, kteří využívají místnost pouze pro přespání. Navržené množství vzduchu je v souladu s doporučenou hodnotou dle ČSN EN 15665/Z1.

- **WC** – vzhledem k menšímu objemu místnosti je zajištěn dostatečný odvod vzduchu.
- **Koupelna** – disponuje menším objemem, ale obsahuje prací a sušící zařízení, která přispívají ke snižování kvality vzduchu, z těchto důvodů je navržena výměna dostatečující.

V 2. NP musí být zajištěno větrání pro 3 dětské pokoje. Toto patro nepostrádá WC a koupelnu, větrání tedy musí být zajištěno i pro tyto prostory.

- **Pokoje 1-3** – jsou využívány pro přespání a k dětským aktivitám. Výměna vzduchu je zde předimenzována kvůli potenciálnímu pobytu více osob.
- **WC** – má podobné objemové parametry jako WC v 1. NP, proto byl navržen stejný průtok vzduchu.
- **Koupelna** – vlivem zkosené střechy má menší objem nežli koupelna v 1. NP. Tato hygienická místnost postrádá prací a sušící zařízení, proto byla zvolena menší výměna vzduchu.

### **2.3 Výběr rekuperační jednotky**

Na trhu se vyskytuje mnoho výrobců, kteří nabízejí jednotky o široké škále využití. Rekuperační jednotky se vybírají na základě technických parametrů, volby uložení a zejména navrženého objemového průtoku vzduchu pro efektivní větrání domu. Pro umístění jednotky je v budově vyhrazena technická místnost s číslem S1.06 (viz obr. 2.1). Tato místnost prosperuje velkou plochou k zastavění a lze tedy uvažovat o pořízení nástěnné větrací jednotky.

Výrobci rekuperačních jednotek dokládají certifikace o tom, že jejich výrobky podrobili technickým zkouškám na výzkumném institutu PHI (Passive House Institute). PHI zaujímá důležité místo ve vývoji pasivních domů a jejich energetické kvality. Vybrané rekuperační jednotky jsou uvedeny v seznamu (viz tab. 2.6) [29].

V návrhu větracího systému budou dále uvažovány/použity 3 rekuperační jednotky Futura L, Duplex ECV5 380 a recoVAIR VAR 360/4, které budou níže podrobněji rozebrány.

Tab. 2.6 – Technické parametry vybraných jednotek

Výrobce	Model	$\dot{V}$	$\eta$	Výměník	$P_{el,spec}$	$L_{WA}$	Cena s DPH
[-]	[-]	[m <sup>3</sup> /h]	[%]	[-]	[Wh/m <sup>3</sup> ]	[dB(A)]	[Kč]
S&P	Ideo 325 Ecowatt	325	92	Deskový	0,33	35,5	77 531
<b>Jablotron</b>	<b>Futura L</b>	<b>350</b>	<b>91,4</b>	<b>Entalpický</b>	<b>0,33</b>	<b>46</b>	<b>98 252</b>
Atrea	Duplex ECV5 380	365	95	Entalpický	0,27	36	48 158
Vaillant	recoVAIR VAR 360/4	360	87	Deskový	0,38	66	82 764
Regulus	Sentinel Advance S	414	93	Entalpický	0,25	43	86 999
Vents	VUT 350 VB EC A22	450	92	Deskový	0,4	28	59 327

Kde:

 $\dot{V}$  [m<sup>3</sup>/h] objemový průtok, $\eta$  [%] účinnost výměníku ZZT, $P_{el,spec}$  [Wh/m<sup>3</sup>] jmenovitý elektrický příkon bez přehřevu, $L_{WA}$  [dB(A)] hladina akustického výkonu.

### 2.3.1 Jablotron – Futura L

Futura L (viz obr. 2.4) je větrací jednotka vyrobena českou firmou Jablotron, která má hlavní sídlo společnosti v Holešově. Jednotky jsou v realizaci od roku 2017 a nesou certifikaci PHI. Vyrábí se ve dvou provedeních o rozdílných objemových průtocích, a to Futura M (max. 250 m<sup>3</sup>/h) a Futura L (max. 350 m<sup>3</sup>/h). Tělo samotné jednotky je vyrobeno z kvalitního plastu, přičemž vnitřní konstrukce je tvořena monolitickým expandovaným polypropylenem. Tento materiál tvoří protihlukovou a tepelnou izolaci. Hrdla jednotky jsou také z plastu o průměru 150 mm [30].



**Obr. 2.4 – Jablotron Futura L [30]**

Uvnitř jednotky se nachází 2 ventilátory s EC motory, které umožňují snadnou regulaci, klapky a automatické spínání funkce bypass. Dále obsahuje entalpický protiproudý výměník, který napomáhá předávání tepla a vlhkosti mezi čerstvým a odpadním vzduchem. Jednotka obsahuje 2 filtry třídy F7, určené k separování nežádoucích zplodin či jiných elementů obsažených v čerstvém nebo odpadním vzduchu. Řídicí systém nabízí majiteli vybrat si mezi několika provozními režimy, které umožňují řídit chod rekuperační jednotky dle potřeby, a to buď řízením na dálku přes mobilní aplikaci MyJABLOTRON nebo automatickým řízením, kdy se intenzita větrání přizpůsobuje daným hodnotám měřeným pomocí čidel CO<sub>2</sub>. Přes MyJABLOTRON lze spouštět režim Boost, který se využívá pro rychlé a nárazové větrání [30].

Hlavní výhodou těchto větracích jednotek tkví v práci s přívodním vzduchem o teplotě pod bodem mrazu (až -19 °C), aniž by byl zapotřebí předehřev. K jednotce lze připojit tzv. CoolBreeze<sup>4</sup>, který eliminuje tepelné zisky/ztráty budovy v letních či zimních dnech. Plně nahrazuje klimatizační zařízení [30].

Firma Jablotron dodává větrací jednotky v základním balení, ke kterému lze za finanční poplatek přidat rozšířené vybavení, kde je zahrnut topný/chladicí modul CoolBreeze, nástěnné ovladače, senzory kvality vzduchu (CO<sub>2</sub>, RH<sup>5</sup>, SQA<sup>6</sup>), tlačítka intenzivních odtahů a distribuční prvky [30].

---

<sup>4</sup> Zařízení, které se skládá z tepelného čerpadla a výměníku tepla, jenž je umístěno ve vzduchotechnickém systému. Je použito k ochlazení nebo k přehřátí okolního vzduchu přiváděného do větraných místností a zabraňuje nežádoucím tepelným ziskům/ztrátám [30].

<sup>5</sup> Čidlo měřící hladinu relativní vlhkosti obsažené ve vzduchu.

<sup>6</sup> Senzor, který reaguje na změny kvality vzduchu zapříčiněné kontaminací jinou látkou.

### 2.3.2 Atrea – Duplex ECV5 380

Atrea je česká firma pocházející z Jablonce nad Nisou, která se od roku 1990 zabývá problematikou mikroklimatu v obytných prostorách budov. V roce 2016 tato společnost uvedla na trh rekuperační jednotky řady Duplex EC5/ECV5 páté generace, které jsou konstruované jak pro bytové jednotky (typ Duplex EC5), tak pro rodinné domy (typ Duplex ECV5). Pro zadaný rodinný dům je navržen typ Duplex ECV5 380 (viz obr. 2.5) [31].



Obr. 2.5 – Atrea Duplex ECV5 380 [31]

Společnost Atrea vyrábí navrhovaný typ větrací jednotky ve třech provedeních – Duplex ECV5 280 s maximálním průtokem vzduchu 285 m<sup>3</sup>/h, Duplex ECV5 380 s maximálním průtokem vzduchu 365 m<sup>3</sup>/h a Duplex ECV5 580 s maximálním průtokem vzduchu 565 m<sup>3</sup>/h. Větrací jednotky všech velikostí díky svým parametrům dosahují nejvyšší energetické třídy A+ [31].

Konstrukce jednotky Duplex ECV5 380 se skládá ze sendvičové vrstvy tvořené z minerální izolace o tloušťce 30 mm ohraničené vnitřním a vnějším plechovým pláštěm. Připojovací hrdla jsou plechová s průměrem 160 mm. Vnitřní prostor vyplňují dva EC ventilátory s automatickým ovládním regulačních klapek a otevřením obtoku (bypass). Společně s ventilátory je rekuperační jednotka vybavena dvěma filtry třídy G4 nebo F7 a entalpickým protiproudým výměníkem vyrobeným z plastu. Účinnost tohoto výměníku za referenčního průtoku 100 m<sup>3</sup>/h vzduchu bez kondenzace dosahuje až 87 % [31].

Výrobce nabízí dvě možnosti řízení – základní modul digitální regulace CP nebo pokročilý modul digitální regulace RD5. CP ovladače poskytují několik vstupních portů určených pro čidla, která měří parametry vzduchu. Dělí se na dva typy: CPA ovladač, který je plně dotykový, nebo jednodušší varianta CPB, která pracuje na mechanickém principu. Dále modul RD5, který narozdíl od CP poskytuje možnost

ovládání a řízení větrání přes web-server napojený na internet nebo přes smartphony. Modul RD5 má dva typy ovladačů: dotykový CP Touch, mechanický CP 10 RT [31].

K základnímu příslušenství lze přidat volitelné zařízení, jako jsou např. vestavěné elektrické předehřívače/dohříváče, potrubní předehřívače/dohříváče, teplovodní ohříváče, čidla kvality vzduchu (hygrostaty, RH čidla, čidla CO<sub>2</sub> atd.) [31].

### 2.3.3 Vaillant – recoVAIR VAR 360/4

Společnost Vaillant je německá firma, která byla založena v roce 1874 panem Johannem Vaillantem ve městě Remscheidu. Tato rodinná firma už 1,5 století přináší na trh topnou, ventilační a klimatizační techniku. V oblasti rekuperačního větrání tato společnost nabízí certifikované (PHI) centrální jednotky pro rodinné domy ve dvou velikostních variantách: recoVAIR VAR 260/4 s maximálním objemovým průtokem vzduchu 260 m<sup>3</sup>/h a recoVAIR VAR 360/4 (viz obr. 2.6) s maximálním objemovým průtokem vzduchu 360 m<sup>3</sup>/h. Tyto jednotky obsahují deskový křížovo-protiproudý výměník tepla. Vaillant nabízí i větrací jednotky s entalpickým výměníkem, které jsou o patřičnou sumu dražší [32].



Obr. 2.6 – Vaillant recoVAIR VAR 360/4 [32]

Konstrukce jednotky VAR 360/4 je tvořena pozinkovaným ocelovým pláštěm. Vnitřní prostor je zastavěn deskovým výměníkem, který dosahuje účinnosti zpětného získání tepla až 87 %. Dále jednotka obsahuje dva výkonné EC ventilátory, automatické ovládání bypassu a regulačních klapek. V základnímu vybavení nechybí 2 filtry třídy F7 pro přívod vzduchu a třídy G4 pro odvod vzduchu. VAR 360/4 je schopný pracovat se vzduchem o teplotě až -3 °C, pak je zapotřebí přívod vzduchu předehřívat elektrickým ohříváčem pro ochranu výměníku před námrazou [32].

Co se řízení týče, společnost Vaillant dodává k základnímu balení regulátor multiMATIC 700 nebo stupňový spínač. Tato regulační zařízení si může zákazník sám zvolit. Mezi výhody regulátoru multiMATIC 700, oproti spínacímu zařízení, patří



---

např. široká škála výběru větracích funkcí a možnost připojení senzorů měřících kvalitu vzduchu v místnosti. Zatímco stupňový spínač je navržen tak, aby řídil pouze intenzitu větrání dle aktuální potřeby. Pro řízení intenzity větrání firma poskytuje mobilní aplikaci multiMATIC App, která pomocí modulu VR 920 připojeného na internetovou síť domu zajišťuje pohodlné ovládání větrací jednotky na dálku [32].

Rekuperační jednotky třídy recoVAIR mají zabudovaný systém Aqua Care, který měří úroveň vlhkosti v odváděném vzduchu a předává zpětnou vazbu řídicí jednotce, jenž automaticky změní množství vzduchu. Tím zajišťuje stálou optimální vlhkost v přiváděném vzduchu pro zlepšení mikroklimatu místností [32].

### 3 Návrh potrubní sítě

Potrubní síť musí být navržena tak, aby byla kompatibilní s konstrukcí budovy a zároveň splňovala komfortní požadavky. Trasa potrubí se navrhuje v co nejkratším provedení s co nejnižším počtem použitých tvarovek [6]. Návrh průřezu a dimenzí vzduchovodů závisí na možnostech stavby a přijatelných rychlostech proudění vzduchu v potrubí (viz tab. 3.1).

Návrh potrubní sítě se bude skládat z několika kroků: 1) tvar průřezu potrubí, 2) návrh trasy, 3) dimenzování potrubí, 4) výpočet tlakových ztrát [33].

Tab. 3.1 – Optimální rychlosti proudění vzduchu [m/s] v potrubí [6]

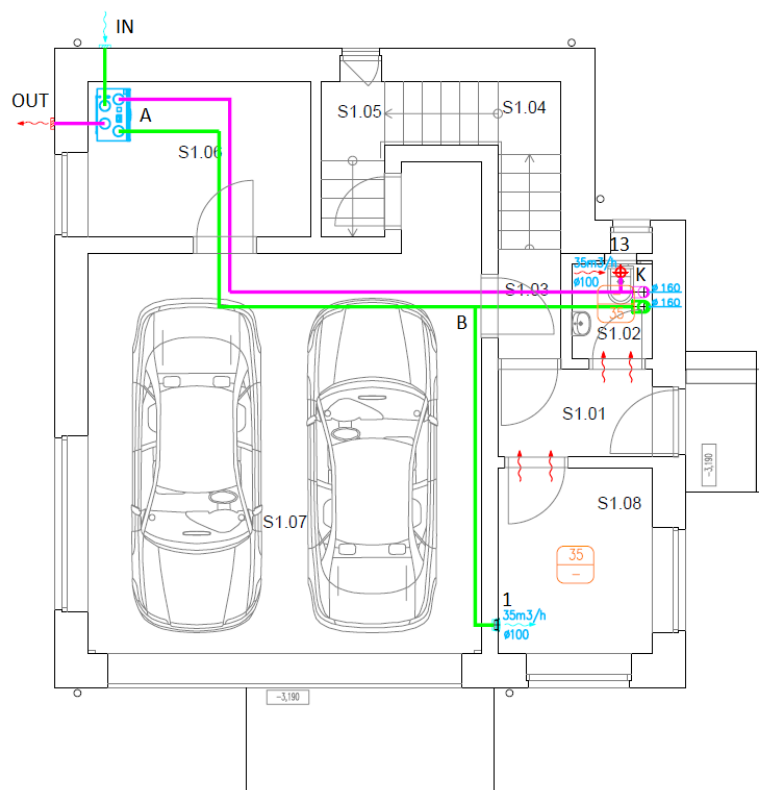
Druh zařízení		Větrání nebo nízkotlaká klimatizace			
		obytná		veřejná	
Druh budovy		střední	max.	střední	max.
Doporučená rychlost [m/s]					
Druh úseku		střední	max.	střední	max.
potrubí	za ventilátorem (tlumičem hluku)				
	hlavní stoupačky	3,5-4,5	6	5-6,5	8
	odbočky rozvodu v podlaží	3	5	3-4,5	6,5
	odvod vzduchu	3,5	4,5	4	5,5
elementy	venkovní žaluzie pro nasávání	2,5	4	2,5	4,5
	Filtry	1	1,5	1,5	2
	Ohřívače	2,2	2,5	2,5	3
	Pračky	2,5-3	3,5-4	2,5-3	3,5-4
	Chladiče	2,2	-	2,5	-

#### 3.1 Trasa potrubní sítě

Pro zvolený rodinný dům jsou navrženy dvě varianty vzduchotechnické potrubní sítě, které budou v kapitole 3.2 podrobeny kontrolnímu výpočtu. Vzduchovody jsou zakresleny pouze schematicky, bez kót a reálných dimenzí potrubí, aby byla zajištěna přehlednost obrázků.

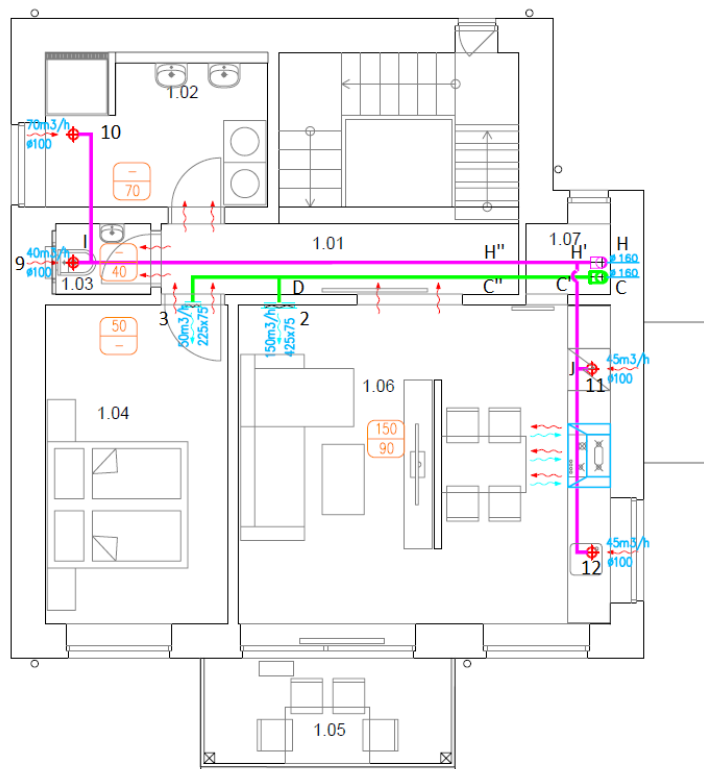
### 3.1.1 První varianta návrhu

Pro podzemní patro (viz obr. 3.1) je navržena trasa přívodu (zelená trasa) v pracovně (S1.08) a odtahu (fialová trasa) na WC (S1.02), kdy obě trasy jsou zakončeny talířovými ventily o průměru 100 mm. Velikost ventilů je navržena dle menších tlakových ztrát a snížení hluchnosti v místnosti. Předpokládá se, že v garáži bude nižší teplota než v nadzemních patrech, proto přívodní i odtahové potrubí je tepelně zaizolované. Vedlejší větve vzduchovodů jsou napojeny na hlavní potrubí o průměru 160 mm, které je vedeno z technické místnosti (S1.06), přes garáž (S1.07), do WC (S1.02), kde dále prochází skrze průraz do 1. NP. Výměna vzduchu ve větraných místnostech je zajištěna pomocí netěsností pod dveřmi – podřezání o 15 mm (červené šipky). Výkres potrubní sítě pro zvolené jednotky je uveden v příloze č. 3.1, 3.5, 3.8.



Obr. 3.1 – 1. PP schéma potrubní sítě (varianta č. 1)

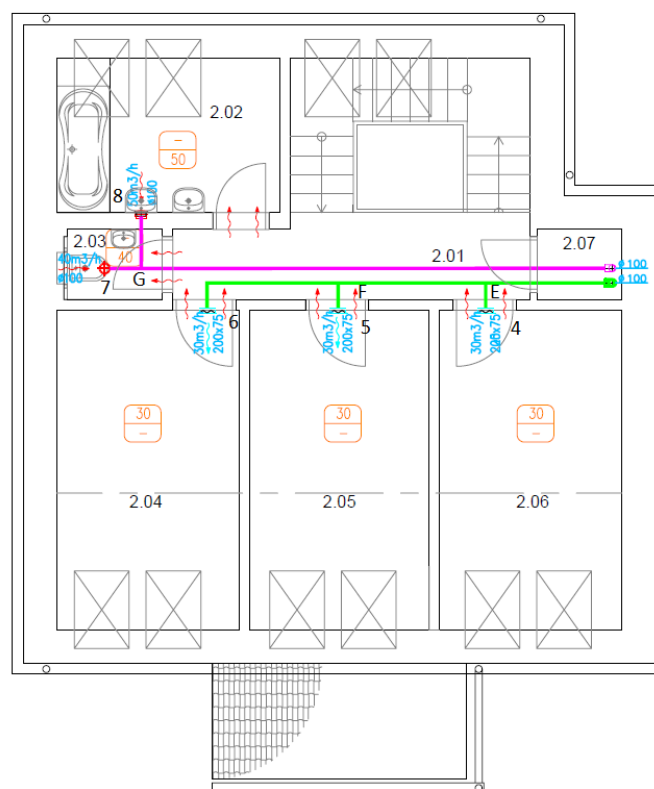
V prvním nadzemním patře (viz obr. 3.2) jsou vzduchovody přívodu zavedeny do obývacího pokoje/kuchyně (1.06) a ložnice (1.04). Vzduchovody odtahu jsou zavedeny na WC (1.03) a do koupelny (1.02). Potrubí je vedeno skrze podhledy, které poskytuje konstrukce budovy v místnostech 1.01, 1.02, 1.03, a počítá se s malým podhledem v kuchyni pro zakrytí odtahového potrubí. Přívody čerstvého vzduchu jsou zakončeny dvouřadými výstky, které jsou navrženy tak, aby byly schopné distribuovat vzduch po celé šířce místnosti. Odtahy znehodnoceného vzduchu jsou zakončeny talířovými ventily o průměru 100 mm. Důvod, proč jsou talířové ventily instalované v kuchyni tímto způsobem, je provětrání celé místnosti a odvod vzduchu nad zařízením (lednice, varná deska), které přispívá tepelným ziskem do místnosti<sup>7</sup>. Nežádoucí pachy způsobené vařením jsou filtrovány recirkulační digestoří. Vedlejší větve potrubí jsou napojeny na hlavní stoupačky o průměru 160 mm. Přívod vzduchu do místností s odsáváním je z místností s přívody zajištěno netěsnostmi pod dveřmi (podřezáním o 15 mm). Stoupačky vedou přes průraz do 2. NP. Výkres potrubní sítě v 1. NP pro zvolené jednotky je uveden v příloze č. 3.2.



Obr. 3.2 – 1. NP schéma potrubní sítě (varianta č. 1)

<sup>7</sup> Vzduch odebírá teplo od lednice a proudí směrem vzhůru. Jelikož prostor za lednicí je špatně hygienicky udržován, odebírá teplý vzduch s sebou částičky prachu, čímž zanáší zdi.

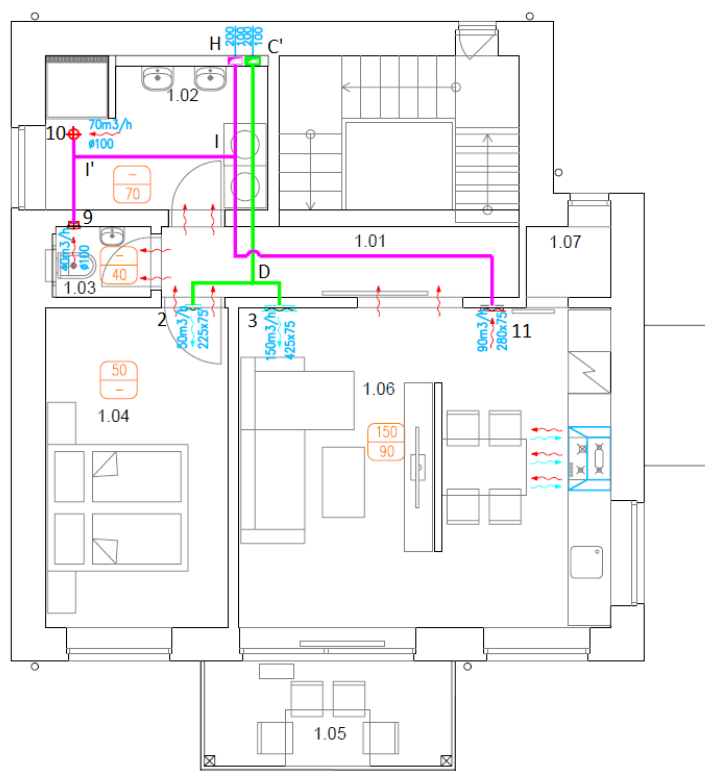
V druhém nadzemním patře (viz obr. 3.3) jsou vzduchovody přívodu zavedeny do dětských pokojů (2.04, 2.05, 2.06) a vzduchovody odtahu jsou zavedeny na WC (2.03) a do koupelny (2.02). Tak jako v 1. NP je přívodní potrubí zakončené dvouřadými výstřky a odtahové potrubí je zakončeno talířovými ventily o průměru 100 mm. Oproti předešlému patru disponuje 2. NP podhledy pouze v chodbě a na WC (2.03), ve kterých jsou vzduchovody vedeny. Z důvodu absence podhledu v koupelně (2.04), je talířový ventil umístěn ve stěně, co nejbliž u vany. Veškerým distribučním elementům jsou přidány regulační klapky. Výměna vzduchu v místnostech je zajištěna skrze netěsnosti pod dveřmi (podřezáním o 15 mm). Výkres potrubní sítě v 2. NP pro zvolené jednotky je uveden v příloze č. 3.3.



Obr. 3.3 – 2. NP schéma potrubní sítě (varianta č. 1)

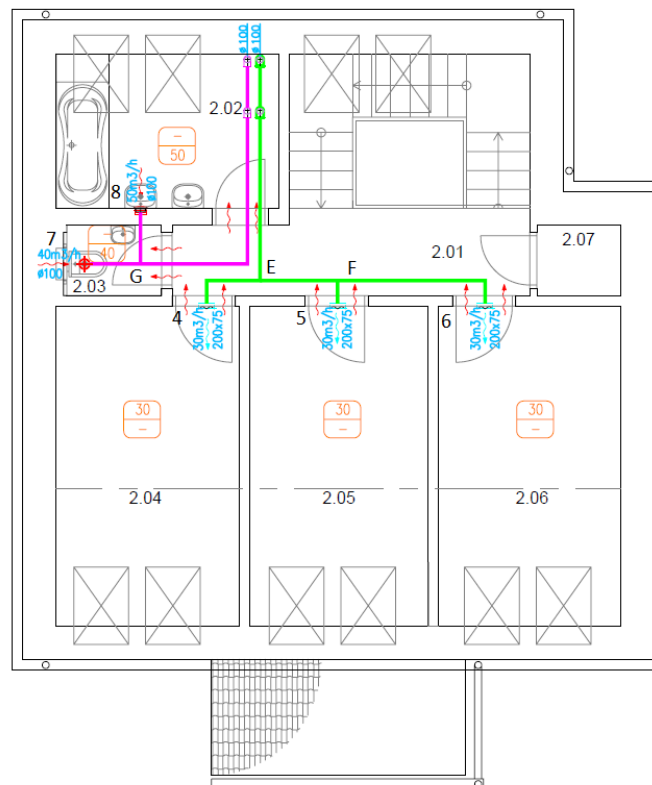


V prvním nadzemním patře (viz obr. 3.5) vedou větve vzduchovodů v podhledech. Přívodní potrubí je zavedeno do ložnice (1.04) a kuchyně/obývacího pokoje (1.06), kde je zakončeno dvouřadými výustkami navrženými tak, aby distribuovaly čerstvý vzduch do celé místnosti. Odvodní potrubí je zavedeno do koupelny (1.02), na WC (1.03) a do kuchyňské části pokoje (1.06). V hygienických místnostech je potrubí zakončeno talířovými ventily o průměru 100 mm, zato v kuchyni/obývacím pokoji je potrubí zakončeno dvouřadou výustkou. Výměna vzduchu mezi jednotlivými místnostmi je zajištěna přes netěsnosti pod dveřmi (podřezáním o 15 mm). Nad kuchyňskou deskou je naistalována recirkulační digestoř pro zachycování nežádoucího zápachu a tuků generovaných při přípravě pokrmů. Výkres potrubní sítě v 1. NP pro zvolené jednotky je uveden v příloze č. 3.11.



Obr. 3.5 – 1. NP schéma potrubní sítě (varianta č. 2)

V 2. NP je potrubí přivedeno skrze stoupačky z 1. NP, které byly v 2. NP pomocí redukčních kusů změněny na kruhový profil o průměru 100 mm. Přívodní vzduchovody jsou zavedené do dětských pokojů (2.04, 2.05, 2.06), kde jsou zakončeny dvouřadými výstky. Odvodní vzduchovody jsou zavedeny do koupelny (2.02) a na WC (2.03), kde jsou zakončeny talířovými ventily o průměru 100 mm. Výměna vzduchu je zajištěna netěsnostmi pod dveřmi (podřezáním o 15 mm). Stoupačky jsou přizpůsobené sklonu sedlové střechy a jsou vedené v podhledu, pod úhlem sklonu střechy. V koupelně (2.02) není po celé ploše zastavěn podhled, proto se počítá s malým podhledem v pravé části místnosti pro zakrytí potrubí. Výkres potrubní sítě v 2. NP pro zvolené jednotky je uveden v příloze č. 3.12.



Obr. 3.6 – 2. NP schéma potrubní sítě (varianta č. 2)



### 3.2 Kontrolní výpočet potrubní sítě

Navržené potrubní trasy budou podrobeny kontrolnímu výpočtu na vyhovující dimenze pro navržené rychlosti (viz tab. 3.1), a následně výpočtům tlakových ztrát. Výsledné hodnoty budou porovnány a vyhodnoceny s parametry ventilátorů.

Dle známých doporučených rychlostí a navržených průtoků, lze stanovit velikost kruhového potrubí dle rovnice (3.1).

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot w}} \quad (3.1)$$

Kde:

$d$	[m]	průměr potrubí,
$\dot{V}$	[m <sup>3</sup> /s]	objemový průtok vzduchu,
$w$	[m/s]	rychlost proudění vzduchu.

Pro nekruhové průřezy je zaveden ekvivalentní průměr  $d_e$ , který lze stanovit dle rovnice (3.2) za předpokladu stejných rychlostí v obou průřezích [34], nebo za předpokladu stejných objemových průtoků viz rovnice (3.3) [35].

$$d = d_e = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b} = \frac{2 \cdot b \cdot s}{s + 1} \quad (3.2)$$

$d_e$	[m]	ekvivalentní průměr,
$a$	[m]	šířka potrubí,
$b$	[m]	výška potrubí,
$s$	[1]	poměr a/b.

$$d = d_e = 1,265 \left( \frac{a^3 \cdot b^3}{a + b} \right)^{0,2} \quad (3.3)$$

Pro vypočtený průměr potrubí se zvolí normovaný rozměr  $d_{jm}$ , kde následně určíme reálnou rychlost proudění vzduchu  $w_r$ , kterou získáme vyjádřením z rovnice (3.1) viz rovnice (3.4).

$$w_r = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot d_{jm}^2} \quad (3.4)$$

$w_r$	[m/s]	skutečná rychlost,
$d_{jm}$	[m]	jmenovitý rozměr potrubí.

Celková tlaková ztráta se počítá pro hlavní větev, která vede od ventilátoru k nejdále posazené výustce/ventilu [6]. Celkovou tlakovou ztrátu stanovíme součtem místních a třecích ztrát dle vzorce (3.5).

$$\Delta p_c = \Delta p_m + \Delta p_t \quad (3.5)$$

Kde:

$\Delta p_c$  [Pa] celková tlaková ztráta,

$\Delta p_m$  [Pa] místní tlaková ztráta,

$\Delta p_t$  [Pa] třecí tlaková ztráta.

Třecí tlaková ztráta vzniká překonáváním odporu potrubí po celé délce [34]. Třecí ztráty získáme z rovnice (3.6).

$$\Delta p_t = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2 \quad (3.6)$$

Kde:

$\lambda$  [1] součinitel tření,

$l$  [m] délka potrubí,

$\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] hustota vzduchu.

Součinitel tření  $\lambda$  je závislý na Reynoldsově čísle, drsnosti a nerovnostech potrubí, viz rovnice (3.7) [34].

$$\lambda = (Re; \varepsilon/d), [1] \quad (3.7)$$

Kde:

$Re$  [1] Reynoldsovo číslo,

$\varepsilon$  [m] ekvivalentní drsnost potrubí,

$\varepsilon/d$  [1] relativní drsnost.

Charakter proudění ve vzduchovodech je ve většině případů turbulentní. Přechod z laminárního na turbulentní proudění udává kritická hodnota Reynoldsova čísla  $Re_{kr} = 2320$ , přičemž tato hodnota zcela závisí na počtu rušivých podmínek [34]. Reynoldsovo číslo se určí dle rovnice (3.8).

$$Re = \frac{d \cdot w}{\nu} \quad (3.8)$$

Kde:

$\nu$  [m<sup>2</sup>/s] kinematická viskozita vzduchu.

Kinematickou viskozitu lze vypočítat dle vzorce (3.9)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (3.9)$$

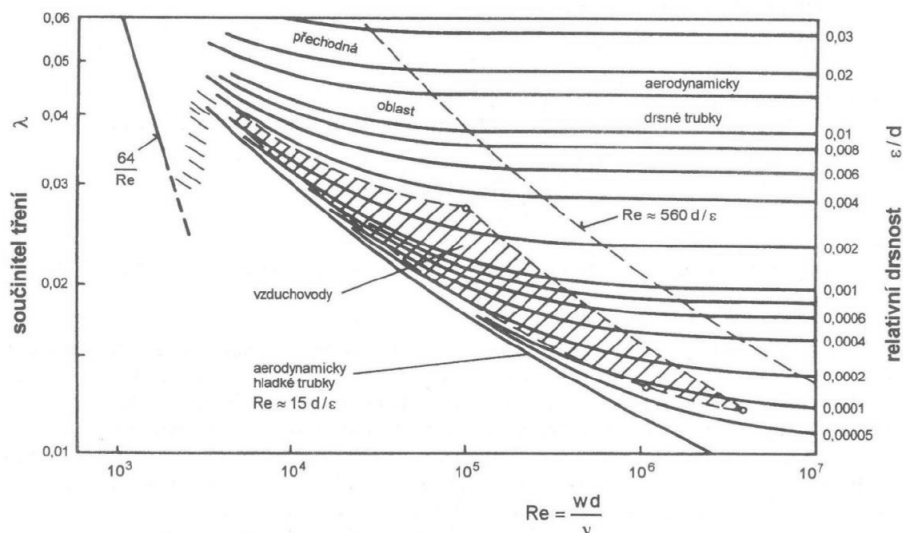
Kde:

$\mu$  [Pa·s] dynamická viskozita

Výpočet součinitele tření  $\lambda$  pro laminární proudění získáme ze vztahu (3.10).

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (3.10)$$

V případě turbulentního proudění získáme hodnotu součinitele tření  $\lambda$  z Moodyho diagramu (viz obr. 3.7.)



Obr. 3.7 – Moodyho diagram [34]

Moodyho diagram vyjadřuje závislost součinitele tření  $\lambda$  na Reynoldsově čísle  $Re$  a relativní drsnosti  $\varepsilon/d$ . Levá svislá osa vyjadřuje hodnoty součinitele tření, pravá svislá osa vyjadřuje hodnoty relativní drsnosti a vodorovná spodní osa vyjadřuje velikost Reynoldsova čísla.

Místní tlaková ztráta  $\Delta p_m$ , nebo také vřazená ztráta, je způsobena změnou směru proudění nebo zúžením potrubí pomocí tvarových kusů (T-kusy, kolena, odbočky, sedlové kusy, redukční kusy atd.) [33]. Vřazená tlaková ztráta se vypočítá dle vzorce (3.11).

$$\Delta p_m = \zeta \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (3.11)$$

Kde:

$\zeta$  [1] ztrátový součinitel.

Ztrátový součinitel  $\zeta$  závisí na geometrii tvarového kusu, proudu, rychlosti proudění či Reynoldsově čísla. Ztrátový součinitel konkrétní tvarovky lze nejpřesněji zjistit experimentální metodou, přičemž se jeho velikost může lišit vlivem malého Reynoldsova čísla. Při  $Re > 10^4$  počítáme s  $\zeta = \text{konst.}$  [34].

Pro získání hodnot ztrátového součinitele lze použít i online výpočtové servery (viz obr. 3.8). Jeden z nich se nazývá qpro.cz. Následující výpočet poslouží k ověření správnosti tohoto výpočtového serveru. Ztrátový součinitel lze získat ze vzorce (3.12), kdy musí být splněna podmínka  $r/d \geq 1$ .

$$\zeta = 0,21 \cdot \sqrt{\frac{r}{d}} \quad (3.12)$$

Kde:

$r$  [m] vnitřní poloměr.

Dosazení do vzorce (3.13)

$$\zeta = 0,21 \cdot \sqrt{\frac{r}{d}} = 0,21 \cdot \sqrt{\frac{160}{160}} = 0,21 \quad (3.13)$$

Nastavení typu tvarovky: ?	Oblouk kruhový hladký	▼
Rozměr A (D): ?	160	mm ▼
Rozměr B: ?	0	mm ▼
Poloměr R (r): ?	160	mm ▼
Úhel: ?	90	[°stupně]
Hustota vzduchu: ?	1.2	kg/m3 ▼
Rychlost proudění: ?	6	m/s ▼
Průtok: ?	434	m3/h ▼
Součinitel místního odporu: ?	0.205	(-)

Obr. 3.8 – Výpočet ze serveru qpro.cz [35]

Hodnota z výpočtového serveru a z ručně vypočítané hodnoty se příliš neliší, proto se může qpro.cz považovat za správný zdroj.

### 3.2.1 Návrh dimenzí potrubí

Potrubní síť se bude skládat z kombinace kruhového potrubí a čtyřhranného potrubí. Návrh rychlostí a velikostí přívodního potrubí v jednotlivých místnostech je zaznamenán v tab. 3.2 a návrh odtahového potrubí je zaznamenán v tab. 3.3. Návrh dimenzí a rychlostí je pro obě varianty stejný. Varianty se liší pouze v odtahu v kuchyni/obývacím pokoji, kdy v první variantě je odtah vzduchu rozdělen mezi dva talířové ventily (viz obr. 3.2) a ve druhé variantě je odtah pouze jeden a je zakončen dvouřadou výustkou (viz obr. 3.5).

Tab. 3.2 – Návrh rozměrů a rychlostí v přívodní síti

místnost	$\dot{V}$ [m <sup>3</sup> /h]	$d$ [mm]	$d_{jm}$ [mm]	$w_n$ [m/s]	$w_{sk}$ [m/s]
pracovna (S1.08)	35	78,67	80	2,0	1,93
kuchyně/obývací pokoj (1.06)	150	145,67	140	2,5	2,71
ložnice (1.04)	50	103,01	100	2,0	1,77
pokoj 1 (2.04)	30	72,84	80	2,0	1,66
pokoj 2 (2.05)	30	72,84	80	2,0	1,66
pokoj 3 (2.06)	30	72,84	80	2,0	1,66

Tab. 3.3 – Návrh rozměrů a rychlostí v odtahové síti

místnost	$\dot{V}$ [m <sup>3</sup> /h]	$d$ [mm]	$d_{jm}$ [mm]	$w_n$ [m/s]	$w_{sk}$ [m/s]
WC (S1.02)	35	78,67	80	2,0	1,93
koupelna (1.02)	70	99,51	100	2,5	2,48
WC (1.03)	40	75,23	80	2,5	2,21
kuchyně (1.06) var. 1	45	79,79	80	2,5	2,49
obývací pokoj (1.06) var. 1	45	79,79	80	2,5	2,49
kuchyně/ obývací pokoj (1.06) var. 2	90	103,01	100	3,0	3,18
koupelna (2.02)	50	84,10	80	2,5	2,76
WC (2.03)	40	75,23	80	2,5	2,21

Kde:

$d$	[mm]	vypočtený průměr potrubí,
$d_{jm}$	[mm]	jmenovitý průměr potrubí,
$w_n$	[m/s]	navrhovaná rychlost proudění,
$w_{sk}$	[m/s]	skutečná rychlost proudění,
$\dot{V}$	[m <sup>3</sup> /h]	objemový průtok vzduchu.

### 3.2.2 Návrh distribučních elementů

Rozmístění a návrh distribučních elementů je pro obě varianty potrubní sítě téměř stejný. Skládá se z velké části z talířových ventilů (na odtahových větvích) a z výustek (na přívodních větvích). Elementy jsou převzaty od výrobce Mandík, a.s., který nabízí širokou škálu distribučních elementů s vypracovanými technickými listy.

V 1. PP přivádíme vzduch do pracovny (S1.08) a odvádíme z WC (S1.02), kdy přívodní i odtahové potrubí o průměru 80 mm je zakončeno talířovými ventily. Pro nižší tlakové ztráty a nižší hladinu hluku je zvolen přívodní talířový ventil TVPM 100 o průměru 100 mm a pro odvod je zvolen talířový ventil TVOM 100 se stejnou velikostí. Ventily jsou napojeny na potrubní síť pomocí redukčního tvarového kusu, společně s ohebnou hadicí Sonoflex. Průtok vzduchu je nahrubo nastaven regulačními klapkami a doregulován talířovými ventily [36].

V 1. NP je zavedeno přívodní potrubí do kuchyně/obývacího pokoje a do ložnice (1.06, 1.04). Přívodní potrubí, které je zavedeno do kuchyně/obývacího pokoje (1.06), o průměru 140 mm je zakončeno dvouřadou výustkou VNM o rozměrech

425 × 75 mm s regulací R1<sup>8</sup>. Přívodní potrubí o průměru 100 mm, které je vedeno do ložnice (1.04), je zakončeno dvouřadou výustkou VNM o rozměrech 225 × 75 mm s regulací R1. Výustky jsou navrženy tak, aby byly schopné distribuovat čerstvý vzduch po celé šířce místnosti. Potrubí pro odvod znehodnoceného vzduchu je vedeno do koupelny (1.02), na WC (1.03) a do kuchyně/obývacího pokoje. Odtahové potrubí o průměru 100 mm, které je zavedeno do koupelny, je zakončeno odtahovým talířovým ventilem TVOM 100 o průměru 100 mm. Odtahové potrubí o průměru 80 mm, vedené na WC (1.03), je zakončeno odtahovým talířovým ventilem TVOM 100. Ve variantě č. 1 (místnost 1.06) jsou na odtahové potrubí (průměr 80 mm) nainstalovány dva odtahové ventily TVOM 100. Ve variantě č. 2 není odtahové potrubí vedeno skrze kuchyň/obývací pokoj, ale je zavedeno pouze do stěny (viz obr. 3.5), kde je zakončeno dvouřadou výustkou VNM o rozměrech 225 × 75 mm. Talířové ventily jsou pomocí redukčních kusů a ohebné hadice Sonoflex připojeny na potrubní síť. Výustky jsou skrze příslušné redukční kusy (z kruhového průřezu na čtyřhranný průřez) připojeny na potrubní síť. Průtok vzduchu je nahrubo nastaven regulačními klapkami a je doregulován navrženými talířovými ventily nebo výustkami [36].

V 2. NP je přívodní potrubní síť dovedena do dětských pokojů (2.04, 2.05, 2.06). Pro tyto místnosti jsou navrženy dvouřadě výustky VNM o rozměrech 200 × 75 mm, které jsou napojeny na potrubí o průměru 80 mm pomocí příslušných redukčních kusů (z kruhového průřezu na čtyřhranný průřez). Stejně jako u předchozích aplikací jsou výustky navrženy tak, aby byly v každé místnosti schopné distribuovat čerstvý vzduch po celé místnosti. Odtahová potrubní síť je dovedena do koupelny (2.02) a na WC (2.03), kdy do hygienických prostorů jsou navrženy odtahové talířové ventily TVOM 100, pro snížení tlakových ztrát a hladiny hluku. Talířové ventily jsou napojeny na potrubí pomocí redukčních kusů a hadice Sonoflex. Průtok vzduchu je nahrubo nastaven regulačními klapkami a je doregulován navrženými talířovými ventily nebo výustkami [36].

Souhrnný seznam distribučních elementů je sepsán v tab. 3.4.

---

<sup>8</sup> Regulace R1 obsahuje v konstrukci protiběžné naklápěcí listy. Tento typ regulace je vhodný pro přívod i odvod [36].

Tab. 3.4 – Seznam distribučních elementů [36]

	Varianta návrhu	Pozice	Místnost	Element	$\varnothing d$ nebo $a \times b$	$\dot{V}$	$\Delta p$
					[mm]	[m <sup>3</sup> /h]	[Pa]
Přívod	1., 2.	1.201	Pracovna	TVPM	100	35	4
	1., 2.	1.202	Ložnice	VNM	425×75	150	4
	1., 2.	1.203	Kuchyň	VNM	225×75	50	1
	1., 2.	1.204	Pokoj 1	VNM	200×75	30	1
	1., 2.	1.204	Pokoj 2	VNM	200×75	30	1
	1., 2.	1.204	Pokoj 3	VNM	200×75	30	1
Odvod	1., 2.	1.251	WC	TVOM	100	35	6
	1.	1.251	Kuchyň	TVOM (2ks)	100	45	9
	2.	1.252	Kuchyň	VNM	280×75	90	2
	1., 2.	1.251	WC	TVOM	100	40	7
	1., 2.	1.251	Koupelna	TVOM	100	70	19
	1., 2.	1.251	WC	TVOM	100	40	7
	1., 2.	1.251	Koupelna	TVOM	100	50	11

Výrobce distribučních elementů udává vztah (3.14) efektivní rychlosti proudění pro distribuci vzduchu po celé místnosti [36].

$$w_{ef} = \frac{\dot{V}}{3600 \cdot S_{ef}} \quad (3.14)$$

Kde:

$w_{ef}$  [m/s] efektivní rychlost,

$\dot{V}$  [m<sup>3</sup>/h] objemový průtok pro jednu výustku,

$S_{ef}$  [m<sup>2</sup>] efektivní plocha výustky<sup>9</sup>.

Efektivní rychlost  $w_{ef}$  je dále využita pro určení rychlosti proudění vzduchu v požadované vzdálenosti od výustky  $w_L$ . Pro názornost určení rychlosti  $w_L$  je vypočtena dvouřadá výustka VNM o rozměrech 425 × 75 mm [36].

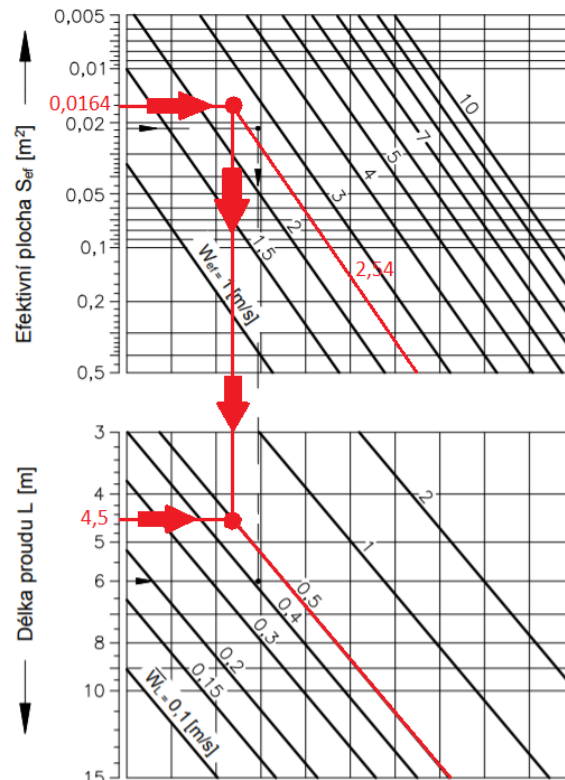
Pro výpočet je znám objemový průtok  $\dot{V} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$ , efektivní plochu  $S_{ef} = 0,0164 \text{ m}^2$  zadané výustky je možné dohledat v tabulkách dodaných výrobcem, viz výpočet (3.15).

<sup>9</sup> Efektivní plocha výustky je hodnota, kterou udává výrobce v technické dokumentaci výrobku.



$$w_{ef} = \frac{\dot{V}}{3600 \cdot S_{ef}} = \frac{150}{3600 \cdot 0,0164} = 2,54 \text{ m/s} \quad (3.15)$$

K určení rychlosti  $w_L$  je také potřeba znát vzdálenost od výustky k protější stěně místnosti, která činí  $L = 4,5$  m. Dále rychlost  $w_L$  vyčteme z diagramu, viz postup na obr. 3.9.



Obr. 3.9 – Diagram vyhledávání rychlosti  $w_L$  [36]

Velikost rychlosti  $w_L$  z diagramu vyšla cca 0,5 m/s. Při stanovení rychlosti  $w_L$  je počítáno s usazením výustky u stropu. Pro tento případ výrobce udává vztah (3.16).

$$\bar{w}_L = 1,4 \cdot w_L \quad (3.16)$$

Kde:

$\bar{w}_L$  [m/s] korekce rychlosti  $w_L$ .

Dosazení do vztahu (3.17):

$$\bar{w}_L = 1,4 \cdot w_L = 1,4 \cdot 0,5 = 0,7 \text{ m/s} \quad (3.17)$$

Orientační rychlost  $w_L$  tedy činí 0,7 m/s. Stejný postup byl aplikován na ostatní přírodní výustky viz tab. 3.5 (tabulka je shodná pro variantu č. 1 i č. 2) [36].

Tab. 3.5 – Návrh rychlostí dvouřadých přívodních výustek VNM [36]

rozměr [mm]	$\dot{V}$ [m <sup>3</sup> /h]	$S_{ef}$ [m <sup>2</sup> ]	$w_{ef}$ [m/s]	$L$ [m]	$w_L$ [m/s]	$\bar{w}_L$ [m/s]
425 × 75	150	0,0164	2,54	4,50	0,50	0,70
225 × 75	50	0,0086	1,62	4,50	0,27	0,38
200 × 75	30	0,0075	1,11	4,50	0,14	0,20

V návrhu vzduchovodů, společně s distribučními elementy, jsou aplikovány potrubní elementy, jako jsou protidešťové žaluzie – PDZM, regulační klapky – RPM-V se servopohonem, zpětné klapky – RSK [23] (použity pouze v potrubí vedeném do exteriéru) nebo tlumiče hluku – SMR. Je tedy nutné počítat s tlakovými ztrátami vyvolanými těmito prvky (viz tab. 3.6) [36].

Tab. 3.6 – Seznam potrubních elementů

	Varianta návrhu	Pozice	Místnost	Prvek	$\varnothing d$ nebo $a \times b$	$\dot{V}$	$\Delta p$
	[-]	[-]	[-]	[-]	[mm]	[m <sup>3</sup> /h]	[Pa]
Přívod	1., 2.	1.501	Tech. míst.	PDZM	200×200	325	11,0
	1., 2.	1.104	Tech. míst.	RSK	200	325	40,0
	1., 2.	1.101	Pracovna	RPM-V	80	35	3,0
	1., 2.	1.103	Kuchyně	RPM-V	140	150	2,0
	1., 2.	1.102	Ložnice	RPM-V	80	50	3,0
	1., 2.	1.101	Pokoj 1	RPM-V	80	30	2,0
	1., 2.	1.101	Pokoj 2	RPM-V	80	30	2,0
	1., 2.	1.101	Pokoj 3	RPM-V	80	30	2,0
Odtah	1., 2.	1.501	Tech. míst.	PDZM	200×200	325	18,0
	1., 2.	1.104	Tech. míst.	RSK	200	325	40,0
	1., 2.	1.101	WC	RPM-V	80	35	3,0
	1., 2.	1.101	WC	RPM-V	80	40	2,0
	1., 2.	1.102	Koupelna	RPM-V	100	70	4,0
	1.	1.101	Kuchyně	RPM-V (2 ks.)	80	45	3,5
	2.	1.102	Kuchyně	RPM-V	100	90	6,5
	1., 2.	1.101	WC	RPM-V	80	40	2,0
	1., 2.	1.101	Koupelna	RPM-V	80	50	2,0

### 3.2.3 Výpočet tlakových ztrát potrubní sítě (varianta č. 1)

Výpočet tlakových ztrát je aplikován na vedlejší větve vzduchovodů ze SPIRO potrubí, přičemž se v konečné fázi vyhodnotí největší tlakové ztráty. V případě zvoleného rodinného domu se potrubní síť rozvětví do tří pater. Tlaková ztráta musí být stanovena pro každé patro zvlášť. Největší hodnota bude následně porovnána s parametry ventilátorů jednotlivých zvolených větracích jednotek.

Velká část z celkových ztrát je zapříčiněna místními odpory potrubí, které jsou zcela závislé na ztrátovém součiniteli  $\zeta$ , kdy je jeho hodnota v případě odtahu vzduchu rozdílná (mimo oblouky), oproti přívodu vzduchu. Hodnoty ztrátových součinitelů aplikovaných v přívodní, resp. odtahové síti s největší tlakovou ztrátou se nachází v tab. 3.7, resp. tab. 3.8 (zakomponovány jsou tvarovky všech jednotek).

**Tab. 3.7 – Ztrátové součinitele tvarovek přívodní sítě [35]**

Tvarovka	Velikost	$\zeta$ [1]
Oblouk kruhový hladký	DN 180	0,2030
	DN 160	0,2050
	DIN 150	0,2060
Redukce kruhová	DN 200/180	0,0117
	DN 200/160	0,0167
	DN 200/150	0,0205
	DN 150/160	0,0118
Redukce kruh. - čtyřhran.	200×200/200	0,0141
	160/160×80	0,0241
	160×80/160	0,1790
	140/425×75	0,3730
T-kus kruhový	160/160/160 (90°)	1,8300
	160/160/140 (90°)	1,2000

Tab. 3.8 – Ztrátové součinitele tvarovek odtahové sítě [35]

Tvarovka	Velikost	$\zeta$ [1]
Oblouk kruhový hladký	DN 180	0,2030
	DN 160	0,2050
	DN 150	0,2060
	DN 100	0,2140
	DN 100 (45°)	0,1390
Redukce kruhová	DN 180/200	0,0244
	DN 160/200	0,0966
	DN 150/200	0,1510
	DN 160/180	0,0276
	DN 160/150	0,0107
	DN 100/800	0,0161
Redukce kruh. - čtyřhran.	200/200×200	0,0155
	160×100/160	0,0626
	125/160×100	0,0342
T-kus kruhový	160/160/160 (90°)	2,3500
	100/100/80 (45°)	0,5020

Jednotka Duplex ECV5 380 má připojovací potrubí o průměru 160 mm [31]. Dimenzi byly přizpůsobeny tlumiče hluku – SMR o průměru 160 mm a délce 1000 mm, které jsou instalovány na potrubí vedené do interiéru i do exteriéru. Tlaková ztráta těchto potrubních prvků závisí na rychlosti proudění vzduchu. Výrobce Mandík, a.s. dodává hodnoty ztrát, které jsou vypsány v tab. 3.9 [36].

Tab. 3.9 – Tlumiče hluku pro jednotku Duplex ECV5 [36]

	Varianta návrhu	Pozice	Počet kusů	Rozměr [mm]	Prvek	$w$ [m/s]	$\Delta p$ [Pa]
Přívod	1., 2.	1.051	2	160×1000	SMR	4,49	1,68
Odtah	1., 2.	1.051	2	160×1000	SMR	4,49	1,68

Kde:

$w$  [m/s] rychlost proudění,

$\Delta p$  [Pa] tlaková ztráta tlumiče.

Pro jednotku od firmy ATREA byla největší tlaková ztráta vypočtena v přívodní a odtahové větvi v 1. NP, a to dle vztahů obsažených v podkapitole 3.2. Úseky vzduchovodů byly počítány dle schématického návrhu potrubní sítě (viz obr. 3.1, obr.

3.2, obr. 3.3.). U výpočtu přívodu vzduchu byl směr postupu od venkovní protidešťové žaluzie po výstuku v 1.NP. U výpočtu odtahu vzduchu byl směr postupu od talířového ventilu po venkovní protidešťovou žaluzii. Následující výpočty se vztahují k jednotce Duplex ECV5 380. Hodnoty tlakové ztráty pro přívod jsou uvedeny v tab. 3.10 a pro odtah v tab. 3.11.

**Tab. 3.10 – Celková tlaková ztráta pro jednotku Duplex ECV5 380 (přívod)**

Úsek	$\varnothing d$	$L$	$\dot{V}$	$\Delta p_e$	$\Delta p_t$	$\Delta p_m$	$\Delta p_c$
	[mm]	[m]	[m <sup>3</sup> /h]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
IN-A	200	0,659	325	52,68	0,43	1,31	54,42
A-B	160	6,363	325	1,68	11,55	7,44	20,67
B-C	160	5,014	290	-	7,24	0,20	7,44
C-C'	160	0,200	200	-	0,15	8,49	8,64
C'-C''	123	0,927	200	-	2,51	0	2,51
C''-D	160	3,089	200	-	2,30	0,82	3,12
D-2	140	0,200	150	7	0,17	6,91	14,08
<b>Celkem:</b>							<b>110,88</b>

**Tab. 3.11 – Celková tlaková ztráta pro jednotku Duplex ECV5 380 (odvod)**

Úsek	$\varnothing d$	$L$	$\dot{V}$	$\Delta p_e$	$\Delta p_t$	$\Delta p_m$	$\Delta p_c$
	[mm]	[m]	[m <sup>3</sup> /h]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
10-I	100	1,700	70	23	1,88	3,20	28,08
I-H''	125	5,210	110	-	4,38	0,13	4,51
H''-H'	139	0,927	110	-	0,45	0	0,45
H'-H	160	0,250	200	-	0,19	11,05	11,24
H-K	160	3,465	290	-	5,01	0	5,01
K-A	160	9,993	325	1,68	18,06	7,44	27,18
A-OUT	200	0,200	325	58,55	0,40	1,57	60,51
<b>Celkem:</b>							<b>136,98</b>

Kde:

$\varnothing d$	[mm]	průměr potrubí,
$L$	[m]	délka potrubí,
$\dot{V}$	[m <sup>3</sup> /h]	objemový průtok vzduchu,
$\Delta p_e$	[Pa]	tlaková ztráta od distribučních a potrubních elementů,
$\Delta p_t$	[Pa]	třecí tlaková ztráta,
$\Delta p_m$	[Pa]	místní tlaková ztráta,
$\Delta p_c$	[Pa]	celková tlaková ztráta.

Jednotka Duplex ECV5 380 disponuje ventilátory, které jsou zkonstruovány do rozdílu tlaku až 260 Pa, při objemovém průtoku 325 m<sup>3</sup>/h [31]. Jednotka Duplex ECV5 380 vyhovuje pro první variantu potrubní sítě. Podrobný výpočet tlakových ztrát je uveden v příloze č. 3.18, 3.19.

Celková tlaková ztráta pro jednotky recoVAIR VAR 360/4 a Futura L je založená na stejném principu výpočtu jako u jednotky Duplex ECV5 380. Výpočet se liší pouze dimenzemi připojovacího potrubí a menšími změnami v délkách potrubí (z důvodu rozdílného uspořádání vstupů do jednotky). Tlumiče hluku jsou kvůli rozdílným připojovacím potrubím konkrétních jednotek přizpůsobeny jejich dimenzím (viz tab. 3.12). Hodnoty tlakových ztrát jednotky recoVAIR VAR 360/4 pro přívod jsou zaznamenány v tab. 3.13.

**Tab. 3.12 – Tlumiče hluku pro jednotky recoVAIR VAR 360/4 a Futura L [36], [37]**

	Varianta návrhu	Pozice	Počet kusů	Rozměr [mm]	Prvek	w [m/s]	$\Delta p$ [Pa]
recoVAIR VAR 360/4							
Přívod	1., 2.	1.051	2	180×900	-	3,55	1,58
Odtah	1., 2.	1.051	2	180×900	-	3,55	1,58
Futura L							
Přívod	1., 2.	1.051	2	160×1000	SMR	5,11	2,91
Odtah	1., 2.	1.051	2	160×1000	SMR	5,11	2,91

Firma Mandík, a.s., nevyrobí tlumiče hluku o průměru 180 mm, musel být tedy zvolen jiný výrobce. V tomto případě se jedná o distributora D-klima s.r.o., která nabízí tlumiče hluku o rozměrech 180 × 900 mm [37].

**Tab. 3.13 – Celková tlaková ztráta pro jednotky recoVAIR VAR 360/4 a Futura L**

	$\Delta p_e$ [Pa]	$\Delta p_t$ [Pa]	$\Delta p_m$ [Pa]	$\Delta p_c$ [Pa]
recoVAIR VAR 360/4				
Přívod	61,16	23,50	26,68	<b>111,33</b>
Odvod	84,16	29,11	23,33	<b>136,60</b>
Futura L				
Přívod	63,82	24,29	25,36	<b>113,47</b>
Odvod	86,82	27,26	23,50	<b>137,88</b>

Jednotka od firmy Vaillant (recoVAIR VAR 360/4) je schopná distribuovat vzduch v maximálních ztrátách až 200 Pa [32]. Je zřejmé, že jednotka s ventilátory pro přívod i odvod vyhovují. Ventilátory u jednotky Futura L jsou schopné distribuovat nebo odtahovat vzduch při celkové tlakové ztrátě až cca 310 Pa [30]. Jednotka Futura L tedy vyhovuje návrhu. Podrobnější výpočet tlakových ztrát pro obě jednotky je uveden v příloze č. 3.20, 3.21, 3.22, 3.23.

### 3.2.4 Výpočet tlakových ztrát potrubní sítě (varianta č. 2)

Potrubní síť ve variantě č. 2 je rozdílná oproti variantě č. 1 tím, že je zde větší kombinace kruhového a čtyřhranného plechového potrubí a stoupačky jsou vedeny v jiné části domu (viz obr. 3.4, obr. 3.5, obr. 3.6).

Výpočet je proveden podle stejného principu, jak u varianty č. 1. Ve výpočtu tlakových ztrát hrají důležitou roli součinitele místního odporu  $\zeta$ . V tab. 3.7 a tab. 3.8 jsou z velké části zobrazeny hodnoty součinitele místního odporu pro kruhové potrubí. Pro čtyřhranné potrubí jsou součinitele místního odporu zobrazeny pro přívod v tab. 3.14 a pro odtah v tab. 3.15 (obě tabulky slouží jako doplněk tab. 3.7 a tab. 3.8).

**Tab. 3.14 – Ztrátové součinitele tvarovek přívodní sítě [35]**

Tvarovka	Velikost [mm]	$\zeta$ [1]
Oblouk	200×100	0,2030
kruhový/čtyřhranný hladký	DIN 140 (45°)	0,1340
Redukce kruh. - čtyřhran.	160/200×100	0,0137
	200×80/160	0,0983
Kalhotový kus	160/140/100	0,3590

**Tab. 3.15 – Ztrátové součinitele tvarovek odtahové sítě [35]**

Tvarovka	Velikost [mm]	$\zeta$ [1]
Oblouk	200×100	0,2250
kruhový/čtyřhranný hladký		
T-kusy	200×100/200×100/200×80	1,7000
	160/160/125 (45°)	0,6340
Redukce kruh. - čtyřhran.	200×100/160	0,0295
Kalhotový kus	160/140/100	0,5760

Pro variantu návrhu č. 2 jsou tlumiče hluku stejné jako u varianty č. 1 (viz tab. 3.9, tab. 3.12). Největší tlaková ztráta byla vypočítána pro 1.NP, kde úseky vzduchovodů byly

počítány dle schématického návrhu potrubní sítě (viz obr. 3.4, obr. 3.5, obr. 3.6). Následující výpočty se vztahují k jednotce Duplex ECV5 380. Hodnoty tlakové ztráty pro přívod jsou uvedené v tab. 3.16 a pro odtah v tab. 3.17.

**Tab. 3.16 – Celková tlaková ztráta pro jednotku Duplex ECV5 380 (přívod)**

Úsek	$\varnothing d$	$L$	$\dot{V}$	$\Delta p_e$	$\Delta p_t$	$\Delta p_m$	$\Delta p_c$
	[mm]	[m]	[m <sup>3</sup> /h]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
IN-A	200	0,832	325	52,68	0,56	1,31	54,55
A-B	160	1,100	325	1,68	2,00	2,48	6,16
B-C	154	1,060	290	-	1,86	2,68	4,54
C-C'	154	3,000	290	-	5,26	0	5,26
C'-D	137	2,737	200	-	4,33	15,12	19,45
D-3	140	0,560	150	7	0,47	3,81	11,28
<b>Celkem:</b>							<b>101,24</b>

**Tab. 3.17 – Celková tlaková ztráta pro jednotku Duplex ECV5 380 (odtah)**

Úsek	$\varnothing d$	$L$	$\dot{V}$	$\Delta p_e$	$\Delta p_t$	$\Delta p_m$	$\Delta p_c$
	[mm]	[m]	[m <sup>3</sup> /h]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
10-I'	100	0,493	70	23	0,54	2,63	26,17
I'-I	125	1,808	110	-	1,51	2,36	3,86
I-H	160	0,997	200	-	0,74	8,24	8,98
H-J	154	3,000	290	-	5,26	0	5,26
J-K	154	0,200	290	-	0,35	2,86	3,21
K-A	160	1,405	325	1,68	2,55	2,48	6,71
A-OUT	200	0,645	325	58,55	0,38	1,57	60,49
<b>Celkem:</b>							<b>114,68</b>

Jednotka Duplex ECV5 380 je při maximálním průtoku schopna pracovat s tlakovým odporem až 260 Pa [31]. Jednotka tedy pro druhou variantu potrubní sítě vyhovuje. Podrobný výpočet tlakových ztrát je uveden v příloze č. 3.24, 3.25.

Stejný princip výpočtu byl aplikován také na dvě ostatní větrací jednotky. Stejně jako v první variantě potrubní sítě, se i v druhé variantě budou mírně lišit hodnoty celkové tlakové ztráty, a to z důvodu rozdílného uspořádání vstupů do jednotky a rozdílných dimenzí vstupního potrubí. Pro zbylé dvě větrací jednotky budou do výpočtu použity stejné tlumiče hluku jako pro první variantu návrhu (viz tab. 3.12). Hodnoty tlakových ztrát pro jednotky recoVAIR VAR 360/4 a Futura L jsou uvedené v tab. 3.18.



Tab. 3.18 – Celková tlaková ztráta pro jednotky recoVAIR VAR 360/4 a Futura L

recoVAIR VAR 360/4	$\Delta p_e$	$\Delta p_t$	$\Delta p_m$	$\Delta p_c$
	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
Přívod	61,16	13,33	23,70	<b>98,19</b>
Odtah	84,16	11,34	19,78	<b>115,24</b>
Futura L				
Přívod	63,82	14,78	24,71	<b>103,31</b>
Odtah	86,82	11,51	19,76	<b>118,09</b>

Větrací jednotka recoVAIR VAR 360/4 je při maximálním průtoku schopna pracovat s tlakovým odporem až 200 Pa [32]. Jednotka tedy vyhovuje pro návrh druhé potrubní sítě. Jednotka Futura L je při maximálním průtoku schopna pracovat s tlakovým odporem až 310 Pa [30]. Jednotka tedy vyhovuje pro druhou variantu návrhu potrubní sítě. Podrobnější výpočet tlakových ztrát pro obě jednotky je uveden v příloze č. 3.26, 3.27, 3.28, 3.29.

### 3.3 Instalace větracích prvků

Instalace větracích prvků je proces, při kterém je třeba dbát požadavků v technickém listě nebo projekčních podkladech stanovených výrobcem větrací jednotky nebo jiných prvků větrací sítě. Požadavky se týkají především místa umístění, prostředí, velikosti místnosti apod.

#### 3.3.1 Montáž větrací jednotky

Pro větrací jednotky je zapotřebí zvolit místnost, u které se musí dbát na dostatečný prostor pro případnou údržbu a obsluhu. Místnost musí jednotku chránit před mrazem či vyššími teplotami (sluneční záření v letním období) [30]. Ve zvoleném rodinném domě jsou navrženy tři varianty nástěnných jednotek, které jsou instalovány v technické místnosti (S1.06), kde je zajištěn dostatečný prostor a ochrana jednotky. Všechny jednotky jsou umístěny ve výšce cca 500 mm, aby instalace systému pro odvod kondenzátu měla dostatečný prostor, přičemž je kondenzační systém zaveden do kanalizace.

Pro připevnění jednotek na stěnu musejí být vyvrtány otvory pro zabudování hmoždinek a následně použity připevňovací šrouby. Jednotka Duplex ECV5 380 má v konstrukci na zadní straně zabudované 4 úchyty (na každém rohu jeden) pro přišroubování. Připevňovací sada šroubů a hmoždinek je obsažena v balení zařízení [31]. Jednotka recoVAIR VAR 360/4 obsahuje, společně se šrouby, hmoždinkami a podložkami, i upevňovací třmen, na který se jednotka uchytí ke stěně [32]. U jednotky Futura L výrobce přidává v balení upevňovací konzoli [30].

Protidešťové přívodní a odtahové žaluzie, jež zakončují potrubí vedené do exteriéru, musejí být od sebe vzdáleny minimálně 2 m, aby nedocházelo k případné recirkulaci odpadního vzduchu. V případě zvoleného rodinného domu jsou protidešťové žaluzie nainstalovány v sousedících stěnách.

Ochrana před mrazem je pro rekuperační jednotky velmi důležitá z hlediska účinnosti a provozních hodin výměníků. Pro jednotku Duplex ECV5 380 je potenciální problém vyřešen pomocí instalace předehřívače vzduchu EPO-V 160/1,5 do přívodního potrubí (o průměru 160 mm), které je vedeno z exteriéru k jednotce. Předehřívač disponuje příkonem 1500 W a připojením do elektrické sítě 230 V [31]. Problém zamrzání pro jednotku recoVAIR VAR 360/4 lze vyřešit pomocí instalace elektrického předehřívacího registru (přímo od výrobce Vaillant) s příkonem 1500 W s napájením 230 V [32] nebo dokoupením elektrického předehřívače od jiného výrobce. K jednotce Futura L, lze připojit chladicí/topný modul CoolBreeze, který lze využívat jako dohřev venkovního vzduchu.

Mezi další potenciální problém patří kondenzace vzdušné vlhkosti na potrubí vedeném z exteriéru. Proto je použita tepelná izolace o tloušťce 25 mm. Lze předpokládat, že ve zvoleném rodinném domku bude v 1. PP teplota nižší než v dalších patrech, proto je tepelná izolace instalována na potrubní síť v celém 1. PP.

### 3.3.2 Montáž vzduchovodů

Vzduchovody kruhového průřezu jsou proti radiálním a axiálním posunům zajištěny objímkami s gumou, které jsou nasazeny na předem připravené závrtné šrouby zabudované ve stropě. Pro spojování kruhového potrubí je využito vnitřních spojek s gumovým těsněním. Při instalaci potrubí je dodržen 1 % spád pro odvod kondenzátu (směrem k jednotce). Čtyřhranné potrubí je připevněno k závrtným šroubům pomocí závěsů, které jsou připevněny k potrubí nýtovými nebo šroubovými spoji. Před napojením dalšího kusu potrubí jsou na dosedací plochy obou kusů potrubí nalepeny izolační pásy. Následné napojení je zajištěno šroubovým spojem. Stejně jako u kruhového potrubí je dodržen 1 % spád pro odvod kondenzátu.

## 4 Realizační a provozní náklady

Realizační náklady jsou jednorázovou a zároveň největší investicí, kterou zákazník musí podstoupit. Do realizačních nákladů spadá větrací jednotka, potrubí, veškeré montážní prvky, distribuční a potrubní elementy. Jelikož jsou navrženy jednotné dimenze, na které se jednotky připojí redukčními prvky, budou realizační náklady z hlediska potrubí téměř totožné. Cenové rozdíly ovlivní pořizovací ceny rekuperačních jednotek.

Následující investice se týkají provozních nákladů, které zákazník musí platit každý rok. Do provozních nákladů je započítán servis jednotky, spotřeba energie jednotky, spotřeba energie případných přehřevů vzduchu a výměna filtrů.

Celkové roční náklady na energie se vypočítají ze vztahu (4.1), kdy je vypočítaná hodnota dána součtem jmenovité roční spotřeby energie jednotky a roční spotřebě energie přehřevu, kdy je součet vynásoben aktuální cenou elektřiny, která činí 4,83 Kč/kWh včetně DPH.

$$N_r = (P_j + P_p) \cdot 4,83 \quad (4.1)$$

Kde:

$N_r$  [Kč/rok] celkové roční náklady na energie,

$P_j$  [kWh/rok] spotřeba energie jednotky za rok,

$P_p$  [kWh/rok] spotřeba energie přehřevu za rok.

Spotřeba energie jednotkou za rok se vypočte dle vztahu (4.2), kdy je tato hodnota závislá na objemovém průtoku výkonového stupně, provozní době výkonového stupně a jmenovitém elektrickém příkonu stanoveným výrobcem.

$$P_j = \sum_{i=1}^n P_{el,spec} \cdot \dot{V}_i \cdot \frac{\tau_{Ri}}{1000} \quad (4.2)$$

Kde:

$P_j$  [kWh/rok] spotřeba elektrické energie jednotky za rok,

$P_{el,spec}$  [Wh/m<sup>3</sup>] jmenovitý elektrický příkon bez přehřevu,

$\dot{V}_i$  [m<sup>3</sup>/h] objemový průtok výkonového stupně,

$\tau_{Ri}$  [h] provozní doba výkonového stupně.

Pro výpočet spotřeby elektrické energie jednotky za rok je zapotřebí si definovat provozní plán výkonových stupňů (viz tab. 4.1). 1. stupeň je uvažován pro dobu od 8:00-15:00, kdy bude malá pravděpodobnost výskytu všech členů domácnosti v obytných prostorách. 2. stupeň je uvažován pro dobu od 21:00-8:00 (noční režim). 3.

stupeň je určený pro dobu od 15:00-21:00, kdy je největší pravděpodobnost výskytu všech členů domácnosti v obytných prostorách, jako je obývací pokoj a dětské pokoje.

**Tab. 4.1 – Provozní plán výkonových stupňů**

Č. stupně	Objemový průtok [m <sup>3</sup> /h]	Provozní doba [h]	Roční doba provozu [h/rok]
1.	90	7	2 555
2.	155	11	3 650
3.	275	6	2 555

V topné sezóně je třeba k provozním nákladům připočítat spotřebu energie předehřevu vzduchu, která je dána vztahem (4.3). Spotřebu je možné vypočítat pomocí topného příkonu předehřevu nebo provozního napětí a proudu získaného z el. sítě. Záleží tedy na tom, jaké veličiny stanoví výrobce předehřevu.

$$P_p = \frac{P_0 \cdot \tau}{1000} = \frac{U_0 \cdot I_0 \cdot \tau}{1000} \quad (4.3)$$

Kde

$P_p$  [kWh/rok] spotřeba energie předehřevu za rok,

$P_0$  [kW] příkon předehřevu,

$U_0$  [V] provozní napětí,

$I_0$  [A] provozní proud,

$\tau$  [h] provozní doba předehřevu.

Z naměřených hodnot z meteostanice Brno-Tuřany se v období 2010-2020 pohybovaly průměrné záporné teploty od -0,1 do -14,5 °C [38]. Pro výpočet spotřeby energie předehřevu vzduchu je zapotřebí stanovit jeho provozní dobu. Záporné teploty se hodnotily v období 5 měsíců (leden, únor, březen, listopad, prosinec). Z intervalu 10 let, byl největší počet mrazivých dnů v roce 2010, kdy bylo spočítáno cca 77 dnů (tedy 1 848 hodin). Hodnota 1 848 hodin bude považována za roční provozní dobu předehřevu.

#### 4.1 Celkové náklady pro jednotku Duplex ECV5 380

Celkové realizační náklady jsou uvedeny v tab. 4.2. Náklady do sebe zahrnují cenu jednotky, potrubí (včetně tvarovek), montáž (včetně práce, montážních prvků), regulační prvky, distribuční a potrubní prvky (tlumiče hluku, regulační prvky, zpětné klapky a ohřivače), a dále čidla CO<sub>2</sub>. Výrobce k jednotce dodává montážní prvky a ovladače RD5 nebo CP (výběr je ponechán zákazníkovi) [31].

Tab. 4.2 – Celkové realizační náklady pro Duplex ECV5 380

Typ	Cena včetně DPH varianta č.1	Cena včetně DPH varianta č. 2
	[Kč]	[Kč]
Jednotka	48 158	48 158
Potrubí	28 650	26 414
Distribuční, potrubní a montážní prvky	180 819	171 700
Čidla	31 728	31 728
Montáž	25 000	25 000
<b>Celkem</b>	<b>314 355</b>	<b>303 000</b>

Dle výrobce, jednotka Duplex ECV5 380 disponuje jmenovitým elektrickým příkonem bez předehřevu 0,27 Wh/m<sup>3</sup> [31]. Lze předpokládat, že příkon bude mírně nižší pro síť s nižší tlakovou ztrátou. Roční náklady bez předehřevu jsou uvedeny v tab. 4.3.

Tab. 4.3 – Roční spotřeba energie bez předehřevu (Duplex ECV5 380)

Objemový průtok	Provozní doba za 1 den	Provozní doba za 1 rok	Jmenovitý el. výkon	Spotřeba energie
[m <sup>3</sup> /h]	[h/den]	[h/rok]	[Wh/m <sup>3</sup> ]	[kWh/rok]
90	7	2 555	0,27	62,09
155	11	3 650		152,75
275	6	2 555		189,71
<b>Celkem</b>				<b>404,55</b>

Roční spotřeba předehřevu EPO-V 160/1,5 je vypočtena dle rovnice (4.4).

$$P_p = \frac{P_0 \cdot \tau}{1000} = \frac{1500 \cdot 1848}{1000} = 2772 \text{ kWh/rok} \quad (4.4)$$

Celková roční spotřeba energie je vypočtena dle rovnice (4.5).

$$N_r = (P_j + P_p) \cdot 4,83 = (404,55 + 2772) \cdot 4,83 = 15 343 \text{ Kč/rok} \quad (4.5)$$

Do celkových provozních nákladů se musí započítat roční servisní služby, které činí cca 1 500 Kč, a pravidelná výměna filtrových kazet (dvakrát do roka). Cenová relace filtrových kazet, pro jednotku Duplex ECV5 380, činí 1 698 Kč při půlroční výměně [31]. Celkové provozní náklady činí 18 541 Kč/rok.

## 4.2 Celkové náklady pro jednotku recoVAIR VAR 360/4

K rekuperační jednotce recoVAIR VAR 360/4 výrobce dodává montážní prvky, regulátor multiMATIC 700, předehřívací registr a vlhkostní čidlo [32]. Celkové realizační náklady jsou shrnuty v tab. 4.4.

**Tab. 4.4 – Celkové realizační náklady pro recoVAIR VAR 360/4**

Typ	Cena včetně DPH varianta č.1	Cena včetně DPH varianta č. 2
	[Kč]	[Kč]
Jednotka	82 764	82 764
Potrubí	30 306	32 111
Distribuční, potrubní a montážní prvky	178 849	169 632
Čidla	52 056	52 056
Montáž	25 000	25 000
<b>Celkem</b>	<b>368 975</b>	<b>361 563</b>

Dle výrobce, jednotka recoVAIR VAR 360/4 disponuje jmenovitým elektrickým příkonem bez předehřevu 0,38 Wh/m<sup>3</sup> [32]. Lze předpokládat, že příkon bude mírně nižší pro síť s nižší tlakovou ztrátou. Roční náklady bez předehřevu jsou uvedeny v tab. 4.5.

**Tab. 4.5 – Roční spotřeba energie bez předehřevu (recoVAIR VAR 360/4)**

Objemový průtok	Provozní doba za 1 den	Provozní doba za 1 rok	Jmenovitý el. výkon	Spotřeba energie
[m <sup>3</sup> /h]	[h/den]	[h/rok]	[Wh/m <sup>3</sup> ]	[kWh/rok]
90	7	2 555	0,38	87,38
155	11	3 650		214,99
275	6	2 555		267,00
<b>Celkem</b>				<b>569,36</b>

Roční spotřeba elektrického předehřívacího registru 1,5 kW je vypočtena dle rovnice (4.6).

$$P_p = \frac{P_0 \cdot \tau}{1000} = \frac{1500 \cdot 1848}{1000} = 2772 \text{ kWh/rok} \quad (4.6)$$

Celková roční spotřeba energie je vypočtena dle rovnice (4.7).

$$N_r = (P_j + P_p) \cdot 4,83 = (569,36 + 2772) \cdot 4,83 = 16 139 \text{ Kč/rok} \quad (4.7)$$

Do celkových provozních nákladů se musí započítat roční servisní služby, které činí cca 1 500 Kč, a pravidelná výměna filtrových kazet (dvakrát do roka). Cenová relace filtrových kazet, pro jednotku recoVAIR VAR 360/4, činí 3 050 Kč, při půlroční výměně [32]. Celkové provozní náklady činí 20 689 Kč/rok.

### 4.3 Celkové náklady pro jednotku Futura L

Firma Jablotron k jednotce Futura L dodává senzor CO<sub>2</sub> s ovladačem, sifon a montážní prvky. Jednotka Futura L disponuje entalpickým výměníkem, který pracuje i při teplotách až -19 °C [30]. Nejnižší průměrná teplota pro Brno za posledních 10 let činí cca -14,5 °C [38]. Proto přehřev nebude uvažován. Celkové realizační náklady jsou uvedeny v tab. 4.6.

**Tab. 4.6 – Celkové realizační náklady pro jednotku Futura L**

Typ	Cena včetně DPH varianta č.1	Cena včetně DPH varianta č. 2
	[Kč]	[Kč]
Jednotka	98 252	98 252
Potrubí	28 889	31 459
Distribuční, potrubní a montážní prvky	173 176	164 056
Čidla	39 355	39 355
Montáž	25 000	25 000
<b>Celkem</b>	<b>364 672</b>	<b>358 122</b>

Dle výrobce, jednotka Futura L disponuje jmenovitým elektrickým příkonem bez přehřevu 0,33 Wh/m<sup>3</sup> [30]. Lze předpokládat, že příkon bude mírně nižší pro sítě s nižší tlakovou ztrátou. Roční náklady bez přehřevu jsou uvedeny v tab. 4.7.

**Tab. 4.7 – Roční spotřeba energie bez přehřevu (Futura L)**

Objemový průtok	Provozní doba za 1 den	Provozní doba za 1 rok	Jmenovitý el. výkon	Spotřeba energie
[m <sup>3</sup> /h]	[h/den]	[h/rok]	[Wh/m <sup>3</sup> ]	[kWh/rok]
90	7	2 555	0,33	75,88
155	11	3 650		186,70
275	6	2 555		231,87
<b>Celkem</b>				<b>494,45</b>

Celková roční spotřeba energie je vypočtena dle rovnice (4.8).

$$N_r = P_j \cdot 4,83 = 494,15 \cdot 4,83 = 2\,387 \text{ Kč/rok} \quad (4.8)$$

Do celkových provozních nákladů se musí započítat roční servisní služby, které činí cca 1 500 Kč, a pravidelná výměna filtrových kazet (dvakrát do roka). Cenová relace filtrových kazet, pro jednotku Futura L, činí 1 840 Kč, při půlroční výměně [30]. Celkové provozní náklady činí 5 727 Kč/rok.

#### 4.4 Shrnutí celkových nákladů jednotek

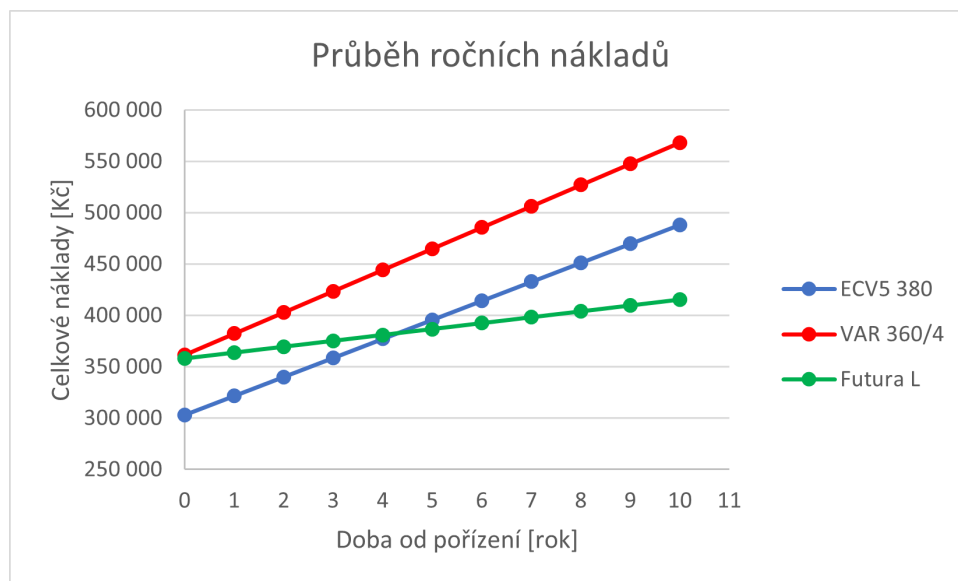
Celkové náklady pro vybrané jednotky jsou shrnuty v tab. 4.8. Komponenty, které nejsou součástí balení rekuperační jednotky jsou od stejného výrobce dokoupeny a zahrnuty do celkových nákladů. Pro jednotku Duplex ECV5 380 výrobce dodává dálkový ovládací panel dle výběru zákazníka. Ostatní prvky, jako jsou čidla CO<sub>2</sub> a přehříváč vzduchu, jsou dokoupeny u stejného distributora Atrea s.r.o [31]. Pro jednotku recoVAIR VAR 360/4 výrobce dodává regulační dálkové zařízení, vlhkostní čidlo a ohřívací registr. Ostatní prvky jako jsou čidla CO<sub>2</sub> jsou dokoupeny od výrobce Vaillant [32]. Pro jednotku Futura L výrobce dodává senzor CO<sub>2</sub> s ovladačem a sifon pro odvod kondenzátu do kanalizační sítě [30]. Lze uvažovat i o nahrazení těchto prvků od jiných výrobců, čímž by se teoreticky mohla snížit celková cena. Tato varianta výpočtu není prováděna z důvodu nepraktičnosti v reálné projekci. Podrobnější informace o realizačních nákladech, pro všechny zvolené jednotky, jsou uvedeny v přílohách č. 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6.

**Tab. 4.8 – Shrnutí realizačních a provozních nákladů jednotek**

Jednotka	Realizační náklady		Provozní náklady bez přehřevu	Provozní náklady přehřevu	Servisní náklady	Celkové roční náklady
	[Kč]		[Kč/rok]	[Kč/rok]	[Kč/rok]	[Kč/rok]
	Varianta č. 1	Varianta č. 2				
ECV5 380	314 355	303 000	1 954	13 389	3 198	18 541
VAR 360/4	368 975	361 563	2 750	13 389	4 550	20 689
Futura L	364 672	358 122	2 387	-	3 340	5 727



V následujícím grafu (viz obr. 4.1) je vyhodnocen průběh ročních nákladů jednotlivých rekuperačních jednotek.



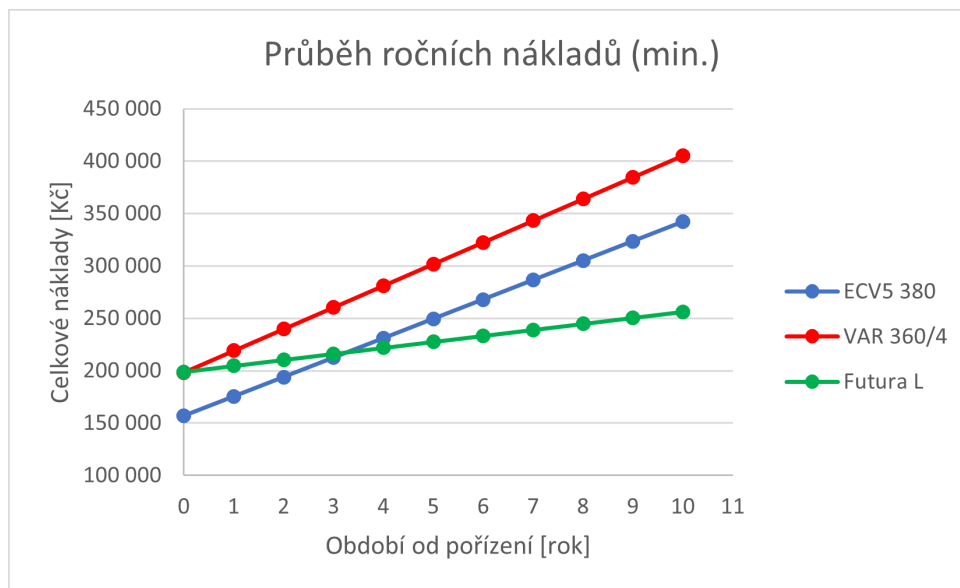
Obr. 4.1 – Průběh ročních nákladů

Vzhledem k vysokým realizačním nákladům byla vypracována minimalistická tabulka (viz tab. 4.9) zahrnující realizační náklady bez určitých prvků (CO<sub>2</sub> senzory a regulační klapky se servopohonu). Namísto aplikace CO<sub>2</sub> senzorů v každém větraném prostoru, byly nahrazeny jedním senzorem nainstalovaným v obývacím pokoji. Automatické regulační klapky byly nahrazeny pevnými regulačními klapkami s možností přidání servopohonu. Těmito změnami se realizační náklady jednotlivých variant návrhu snížily o cca 150 000 Kč z původní ceny.

Tab. 4.9 – Shrnutí minimalistických realizačních a provozních nákladů jednotek

Jednotka	Realizační náklady		Provozní náklady bez předehřevu	Provozní náklady předehřevu	Servisní náklady	Celkové roční náklady
	[Kč]	[Kč]	[Kč/rok]	[Kč/rok]	[Kč/rok]	[Kč/rok]
ECV5 380	Varianta č. 1	Varianta č. 2	1 954	13 389	3 198	18 541
	168 102	156 747				
VAR 360/4	205 786	198 370	2 750	13 389	4 550	20 689
Futura L	205 464	198 954	2 387	-	3 340	5 727

V následujícím grafu (viz obr. 4.2) je vyhodnocen průběh ročních minimalistických nákladů jednotlivých rekuperačních jednotek.



Obr. 4.2 – Průběh ročních nákladů (minimalistická verze)

## Závěr

První kapitola závěrečné práce se zabývá rešerší, která globálně popisuje rekuperační jednotky, včetně jejich prvků. V první kapitole jsou popsány jednotlivé komponenty distribuční sítě, jako je potrubí, distribuční nebo potrubní elementy. Druhá kapitola je zaměřena na popis zvoleného rodinného domu, pro který jsou následně vybrány tři rekuperační jednotky, které mají potenciál ke zvážení jejich instalace. Třetí kapitola je určena výhradně pro návrh trasy vzduchovodů a následnému výpočtu tlakových ztrát, které byly porovnány s parametry vybraných rekuperačních jednotek. Čtvrtá, a poslední kapitola, je vyhrazena pro výpočet realizačních a provozních nákladů pro tři vybrané rekuperační jednotky instalované ve dvou odlišných variantách potrubní sítě.

Pro zvolený rodinný dům byly zpracovány dvě varianty návrhu potrubní sítě, které byly do půdorysů rodinného domu kresleny pomocí programu G-STAR CAD. Varianta návrhu trasy č. 1 je tvořena převážně SPIRO potrubím a varianta návrhu trasy č. 2 je tvořena kombinací SPIRO a čtyřhranného potrubí. Obě verze potrubní sítě byly podrobeny výpočtu na celkové tlakové ztráty a následně byly hodnoty porovnány s technickými parametry ventilátorů obsažených v jednotlivých rekuperačních jednotkách. Jednotka ECV5 380 je vybavena EC ventilátory, které jsou navrženy pro tlakovou ztrátu 260 Pa při jmenovitém průtoku jednotkou. V případě varianty č. 1, celková tlaková ztráta vyšla pro přívod 111 Pa a pro odtah 137 Pa. V případě varianty č. 2, tlaková ztráta vyšla pro přívod 101 Pa a pro odtah 114,68 Pa. Ukázalo se, že rekuperační jednotka vyhovuje pro obě varianty potrubní sítě. Jednotka VAR 360/4 je vybavena EC ventilátory, které jsou navrženy pro tlakovou ztrátu 200 Pa. V případě varianty č. 1, vyšla celková tlaková ztráta pro přívod 111 Pa a pro odtah 137 Pa. V případě varianty č. 2, vyšla tlaková ztráta pro přívod 98 Pa a pro odtah 115 Pa. Ukázalo se, že rekuperační jednotka vyhovuje pro obě varianty potrubí sítě. Jednotka Futura L je také vybavena EC ventilátory, stejně jako její předchůdci, které jsou schopné pracovat při tlakové ztrátě až 310 Pa. V případě varianty č. 1, tlakové ztráty dosahují hodnot pro přívod 113 Pa a pro odtah 139 Pa. V případě varianty č. 2, tlakové ztráty dosahují hodnot pro přívod 103 Pa a pro odtah 118 Pa. Pokud se porovnájí výsledné hodnoty s tlakovou ztrátou ventilátorů, lze vyvodit, že jednotka Futura L pro obě varianty návrhu vyhovuje. Podle výsledků tlakových ztrát, lze vyhodnotit, že varianta návrhu č. 2 je lepší volbou nežli varianta č. 1. Také díky nižším tlakovým ztrátám je předpoklad, že příkon ventilátorů v instalované jednotce bude nižší oproti variantě č. 1.

Celkové náklady jsou rozděleny na realizační a provozní náklady. Realizační náklady byly vyhodnoceny pro obě varianty návrhu a pro všechny tři rekuperační jednotky. Pro rekuperační jednotku ECV5 380 jsou realizační náklady stanoveny pro variantu č. 1 ve výši 314 355 Kč a pro variantu č. 2 ve výši 303 000 Kč. Ze strany spotřeby energie byly roční provozní náklady vyhodnoceny ve výši 18 541 Kč/rok. Pro rekuperační jednotku VAR 360/4 jsou realizační náklady stanoveny pro variantu č. 1 ve výši

368 975 Kč a pro variantu č. 2 ve výši 361 563 Kč. Celkové roční provozní náklady byly vyhodnoceny ve výši 20 689 Kč/rok. Pro rekuperační jednotu Futura L jsou realizační náklady stanoveny pro variantu č. 1 ve výši 364 672 Kč a pro variantu č. 2 ve výši 358 122 Kč. Z hlediska spotřeby energie jsou náklady oproti předešlým jednotkám značně nižší, a to díky entalpickému výměníku, který je schopný efektivně pracovat se vzduchem o teplotě až  $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , proto provozní náklady dosahují hodnoty 5 727 Kč/rok. Pořizovací ceny se u všech jednotek liší zejména kvůli rozdílným pořizovacím cenám jednotlivých rekuperačních jednotek a také kvůli dodávaným zařízením v balení jednotky. Za povšimnutí stojí realizační náklady jednotky VAR 360/4 a Futura L, kde pořizovací cena jednotky je vyšší na straně Futura L, avšak celkové realizační náklady jsou menší nežli u jednotky VAR 360/4. Tento rozdíl je dán právě tím, jaká zařízení jsou započtena v ceně balíčku jednotky. Z hlediska realizačních nákladů je ze všech nejvíce přívětivá jednotka ECV5 380, s využitím varianty č. 2, a z hlediska provozních nákladů je ze všech nejvíce přívětivá jednotka Futura L. Rozdíl v pořizovací ceně jednotky Futura L je během 4 let vyrovnán díky jejím nulovým nákladům za energii na přehřev vzduchu. Vzhledem k astronomickým realizačním nákladům byla na úkor těchto poznatků vyhotovena minimalistická varianta, která neobsahuje větší množství senzorů  $\text{CO}_2$ , a kde regulační klapky se servopohony byly nahrazeny pevnými regulačními klapkami. Tyto úpravy vedly ke značně nižším nákladům (cca o 150 000 Kč).

Cenové relace někdy zdaleka nevyovídají o skutečné kvalitě jednotky. Proto se výběr jednotky nesmí vázat pouze na její cenu, ale je dobré dbát hlavně na kvalitu, zpracování a parametry jednotky. V porovnání zvolených rekuperačních jednotek vyhovuje nejvíce jednotka ECV5 380, která disponuje s účinností rekuperace až 95 %, hladinou hluku do 36 dB(A) a s nejmenším jmenovitým elektrickým příkonem bez přehřevu  $0,27\text{ Wh/m}^3$ .

---

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] RUBINOVÁ, Olga. *A10 – Navrhování vnitřního prostředí budov dle principů trovale udržitelné výstavby – větrání a klimatizace*. Brno: Národní stavební centrum, 2012. ISBN 978-80-87665-09-1.
- [2] ZMRHAL, Vladimír. *Prvky větracích a klimatizačních zařízení (I) – 1. část*. TZB – info [online] Praha: Fakulta strojní ČVUT, 2006 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/3733-prvky-vetracich-aklimatizacnich-zarizeni-i-1-cast>
- [3] HIRŠ, Jiří a Günter GEBAUER. *TZB - vzduchotechnika. Klimatizace: Modul BT02-08*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2005, 39 s. : il.
- [4] *Co je to rekuperace?* [online]. Jablonec na Nisou [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/co-je-to-rekuperace>
- [5] JANOTKOVÁ, Eva. *Technika prostředí*. Brno, 2008. Skripta. Vysoké učení technické; Fakulta strojního inženýrství; Odbor termomechaniky a techniky prostředí EÚ.
- [6] CHYSKÝ, Jaroslav a Karel HEMZAL. *Větrání a klimatizace*. 3.vyd. Praha: BOLIT - B press BRNO, 1993. ISBN 80-901574-0-8.
- [7] SZÉKYOVÁ, Marta, Karol FERSTL a Richard NOVÝ. *Větrání a klimatizace*. Bratislava: JAGA GROUP, 2006. ISBN 80-8076-037-3.
- [8] ČÍŽEK, Miroslav a Vladimír STRAPÁČ. *AZ KLIMA s.r.o. - výrobce klimajednotek*. TZB - info [online]. Praha: Topinfo, 2001, 30.10.2001 [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/714-az-klima-s-r-o-vyrobce-klimajednotek>
- [9] DRKAL, František, Miloš LAIN, Jan SCHWARZER a Vladimír ZMRHAL. *Vzduchotechnika* [online]. Praha, 2009 [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <http://svjvybiralova.cz/images/dokumenty/vzt/Vzduchotechnika.pdf>. Skripta. České vysoké učení technické; Fakulta strojní; Ústav techniky a prostředí.
- [10] DOČKAL, Jan. *Axiální, nebo radiální potrubní ventilátor?* VENTILÁTORY.cz [online]. Praha: 3IT, 2011 [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://www.ventilatory.cz/axialni-nebo-radialni-potrubni-ventilator-x31238>
- [11] GONZALEZ, Carlos. *What's the Difference between AC, DC, and EC Motors?* *MachineDesign* [online]. 2017 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21835874/whats-the-difference-between-ac-dc-and-ec-moto>

- [12] DOČKAL, Jan. Hluk: *Jak hlučné je hlučné?* VENTILÁTORÝ.cz [online]. 3IT, 2011, 20.6.2018 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://www.ventilatory.cz/hluk-jak-hlucne-je-hlucne-x31229>
- [13] *Understanding Heat Exchangers*. THOMAS [online]. New York: Thomas Publishing Company, 2021 [cit. 2021-02-12]. Dostupné z: <https://www.thomasnet.com/articles/process-equipment/understanding-heat-exchangers/>
- [14] PUMP, Otakar. *Přísné podmínky pro výrobce vzduchotechnických jednotek*. Praha, 2014. Dostupné také z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/web/ke-stazeni/erp>
- [15] LAIN, Miloš. *Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci (I)*. TZB - info [online]. Praha: Topinfo, 2001, 6.11. 2006 [cit. 2021-02-12]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/3648-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-i>
- [16] GEBAUER Günter, Olga RUBINOVÁ a Helena HORKÁ. *Vzduchotechnika*. 2.vyd. Brno: ERA group, spol., 2007. ISBN 978-80-7366-091-8.
- [17] POSTUPA, Martin. *Moderní rotační výměníky tepla*. TZB - info [online]. Praha: Topinfo, 2001, 22.5.2017 [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/15795-moderni-rotacni-vymeniky-tepla>
- [18] ČERMÁK, Jan. *Ventilátory*. Praha: SNTL, 1974.
- [19] ZIKÁN, Zdeněk. *Zpětné získávání tepla a větrání objektů*. TZB-info [online]. Atrea, 2010 [cit.2021-02-20]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-srekuperaci/6325-zpetne-ziskavani-tepla-a-vetrani-objektu>
- [20] VENTILÁTORÝ.cz [online]. Praha: 3IT, 2011 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://www.ventilatory.cz/>
- [21] *Větrací jednotky – rekuperace tepla, optimalizace vlhkosti Řízené větrání s rekuperací tepla pro rodinné domy a byty (II)*. TZB-info [online]. Zehnder Group Czech Republic s.r.o, 2013 [cit.2019-03-15]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/10635-rizene-vetrani-s-rekuperaci-tepla-pro-rodinne-domy-a-byty-ii>
- [22] VALTER, Jaroslav. *Regulace v praxi, aneb, Jak to dělám já*. Praha: BEN - technická literatura, 2010. ISBN 9788073002565.
- [23] Elektrodesign: *Ventilátory, rekuperace, tepelná čerpadla, ventilace, příslušenství* [online]. Praha: ELEKTRODESIGN ventilátory, b.r. [cit. 2021-02-27]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/>

- [24] KOPAČKOVÁ, Dagmar. *TEXTILNÍ ROZVODY VZDUCHU společnosti Příhoda s.r.o.* TZB - info [online]. Praha: Topinfo, 2001, 20.5. 2010 [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/potrubi-a-jeho-soucasti/6493-textilni-rozvody-vzduchu-spolecnosti-prihoda-s-r-o>
- [25] KADRMAS, Lukáš. *Textilní rozvody vzduchu*. <https://www.asb-portal.cz/> [online]. Praha: Jaga Media, 30.7.2013 [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/vetrani-a-klimatizace/textilni-rozvody-vzduchu>
- [26] MATHAUSEROVÁ, Zuzana. *Hygienické požadavky na vnitřní prostředí staveb*. TZB - info [online]. Praha: Topinfo, 2001, 25.2.2013 [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/9595-hygienicke-pozadavky-na-vnitri-prostredi-staveb>
- [27] Vyhláška č. 6/2003 Sb.: *Vyhláška, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb*. Praha: Ministerstvo zdravotnictví, 2003.
- [28] Vyhláška č. 268/2009 Sb.: *Vyhláška o technických požadavcích na stavby*. 3.vyd. Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj, 2017.
- [29] Ventilation systems (capacity < 600 m<sup>3</sup>/h). Component database [online]. Darmstadt: Passive house institute, b.r. [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: [https://database.passivehouse.com/en/components/list/ventilation\\_small](https://database.passivehouse.com/en/components/list/ventilation_small)
- [30] Jablotron Futura. *Jablotron* [online]. Holešov [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.jablotronlt.com/futura/>
- [31] *Rovnotlaké větrací jednotky*. *Atrea* [online]. Jablonec nad Nisou [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/duplex-280-380-580-ecv5>
- [32] *Rekuperační jednotky*. *Vaillant* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.vaillant.cz/pro-zakazniky/produkty/rekuperacni-jednotky/>
- [33] CENTNEROVÁ, Lada a Karel PAPEŽ. *Technická zařízení budov: Vzduchotechnika - cvičení*. Praha: ČVUT, 2003.
- [34] NOVÝ, Richard. *Technika prostředí*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2006, c2000. ISBN 80-01-03492-5
- [35] VOPÁLKA, Karel. *Výpočet místních odporů*. *Technika prostředí* [online]. Chlumeck nad Cidlinou, 2006, 2006 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.qpro.cz/Tlakova-ztrata-mistnimi-odpory-Strana-2>
- [36] *Mandík, a.s.* [online]. Hostomice, 2015 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.mandik.cz/>

- 
- [37] Vzduchotechnika.cz [online]. Optimal Marketing [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.vzduchotechnika.cz/>
- [38] Český hydrometeorologický ústav: Historická data [online]. ČHMÚ [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/>
- [39] AZ KLIMA a.s.: Katalog potrubí čtyřhranné a kruhové [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.azklima.com/>
- [40] SCHILD, Peter. Doporučení pro měrný příkon ventilátoru (SFP) a účinnost vzduchotechnických systémů – IV. TZB - info [online]. Praha, 2001, 5.5.2014 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/11170-doporuceni-pro-merny-prikon-ventilatoru-sfp-a-ucinnost-vzduchotechnicky-systemu-iv>



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
10; 11	Priváděný vzduch	
20; 21	Odváděný vzduch	
a	Šířka čtyřhranného potrubí	m
AC	Asynchronní el. motor	
b	Výška čtyřhranného potrubí	m
C	Konstanta dané sítě	kg/m <sup>7</sup>
c	Měrná tepelná kapacita	J/kg·K
d	Průměr potrubí	m
D <sub>2</sub>	Průměr oběžného kola	m
DC, EC	Stejnoseměrná el. motor	
d <sub>e</sub>	Ekvivalentní průměr	m
d <sub>jm</sub>	Jmenovitý průměr potrubí	m
h <sub>1</sub>	Vstupní entalpie vzduchu ve výměníku	J/kg
h <sub>2</sub>	Výstupní entalpie vzduchu ve výměníku	J/kg
HEPA	Vysoce efektivní filtr vzduchových částic	
I <sub>0</sub>	Provozní proud	A
l	Délka potrubí	m
L <sub>p10A</sub>	Hladina hlukového výkonu talířového ventilu	dB
L <sub>WA</sub>	Hladina akustického výkonu	dB <sub>A</sub>
MaR	Měření a regulace	
NP	Nadzemní patro	
N <sub>r</sub>	Celkové roční náklady na energie	Kč/rok
P <sub>0</sub>	Příkon předeřevu	kW
PE	Polyethylen	
P <sub>el, spec</sub>	Jmenovitý el. příkon bez předeřevu	Wh/m <sup>3</sup>
PHI	Institut pasivního domu	

$P_j$	Spotřeba energie jednotky za rok	kWh/rok
PP	Podzemní patro	
$P_p$	Spotřeba energie předehřevu za rok	kWh/rok
PVC	Polyvinylchlorid	
$\dot{Q}$	Tepelný výkon	W
$q_w$	Objemový průtok	m <sup>3</sup> /h
r	Vnitřní poloměr	m
Re	Reynoldsovo číslo	1
s	Poměr a/b	1
$S_{ef}$	Efektivní plocha výustky	m <sup>2</sup>
$t_1$	Vstupní teplota vzduchu ve výměníku	°C
$t_2$	Výstupní teplota vzduchu ve výměníku	°C
$t_{E1}$	Teplota přivedeného vzduchu před výměníkem	°C
$t_{e1}$	Teplota přivedeného vzduchu před výměníkem	°C
$t_{E2}$	Teplota přivedeného vzduchu za výměníkem	°C
$t_{e2}$	Teplota přivedeného vzduchu za výměníkem	°C
$t_{i1}$	Teplota odváděného vzduchu před výměníkem	°C
$t_{i1}$	Teplota odváděného vzduchu před výměníkem	°C
$t_{i2}$	Teplota odváděného vzduchu za výměníkem	°C
TZL	Tuhé znečišťující látky	
$U_0$	Provozní napětí	V
$u_2$	Obvodová rychlost	m/s
ULPA	Ultra nízké propouštění vzduchu	
$\dot{V}$	Objemový průtok	m <sup>3</sup> /s
$\dot{V}_l$	Objemový průtok výkonového stupně	m <sup>3</sup> /h
$v_e$	Přívod čerstvého vzduchu	
$v_o$	Odváděný vzduch	
$v_{oo}$	Znehodnocený vzduch	

---

$v_p$	Přiváděný vzduch	
$w$	Rychlost proudění vzduchu	m/s
$w_{ef}$	Efektivní rychlost proudění	m/s
$\bar{w}_L$	Korekce rychlosti proudění v určité vzdálenosti	m/s
$w_L$	Rychlost proudění v určité vzdálenosti	m/s
$w_n$	Návrhová rychlost proudění	m/s
$w_r$	Skutečná rychlost proudění	m/s
$w_{sk}$	Skutečná rychlost proudění	m/s
$x_{E1}$	Měrná vlhkost přiváděného vzduchu před výměníkem	g/kg <sub>s.v.</sub>
$x_{E2}$	Měrná vlhkost přiváděného vzduchu za výměníkem	g/kg <sub>s.v.</sub>
$x_{I2}$	Měrná vlhkost odváděného vzduchu před výměníkem	g/kg <sub>s.v.</sub>
ZZT	Zpětné získání tepla	
$\Delta p$	Dopravní tlak ventilátoru	Pa
$\Delta p_c$	Celková tlaková ztráta	Pa
$\Delta p_e$	Tlaková ztráta od distribučních a potrubních prvků	Pa
$\Delta p_m$	Místní tlaková ztráta	Pa
$\Delta p_t$	Tlaková ztráta talířového ventilu	Pa
$\Delta p_t$	Třecí tlaková ztráta	Pa
$\Delta p_z$	Tlaková ztráta	Pa
$\varepsilon$	Ekvivalentní drsnost	m
$\varepsilon/d$	Relativní drsnost	1
$\zeta$	Součinitel vřazeného odporu	1
$\eta$	Účinnost výměníku	1
$\eta_c$	Účinnost ventilátoru	1
$\lambda$	Součinitel odporu třením	1
$\lambda$	Výkonové číslo	1
$\mu$	Dynamická viskozita	Pa·s
$\nu$	Kinematická viskozita	m <sup>2</sup> /s

---

$\xi$	Součinitel vřazeného odporu	1
$\pi$	Konstanta pí	1
$\rho$	Hustota vzduchu	kg/m <sup>3</sup>
$\tau$	Provozní doba přehřevu	h
$\tau_{Ri}$	Provozní doba výkonového stupně	h
$\varphi$	Objemové číslo	1
$\psi$	Tlakové číslo	1
$\psi$	Vlhkostní faktor	1

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1.1 – Schéma větrací jednotky s rekuperací [8] .....	13
Obr. 1.2 – Schéma základních ventilátorů [18].....	14
Obr. 1.3 – Radiální ventilátor [9] .....	15
Obr. 1.4 – Axiální ventilátor [9] .....	15
Obr. 1.5 – Charakteristika ventilátoru a potrubní sítě [9].....	16
Obr. 1.6 – Směry toku tekutin [13] .....	19
Obr. 1.7 – Deskový výměník křížový [15] .....	21
Obr. 1.8 – Deskový výměník protiproud [15] .....	21
Obr. 1.9 – Rotační výměník [17] .....	22
Obr. 1.10 – Princip přepínacího výměníku [16] .....	23
Obr. 1.11 – Druhy filtrů [9].....	24
Obr. 1.12 – Princip trubkového výměníku tepla [16].....	26
Obr. 1.13 – Elektrický ohříváč [20] .....	26
Obr. 1.14 – Princip bypassu [21].....	28
Obr. 1.15 – AIRSENS – RF – RH bezdrátové inteligentní čidlo RH [23] .....	30
Obr. 1.16 – SPIRO potrubí [23] .....	31
Obr. 1.17 – ALUFLEX HYGIENIC [23] .....	31
Obr. 1.18 – ED flex potrubí [23] .....	31
Obr. 1.19 – Schéma textilního potrubí [25] .....	32
Obr. 1.20 – Označení vlastností materiálu [25] .....	32
Obr. 1.21 – Druhy tvarových kusů [39].....	33
Obr. 1.22 – Tlumič hluku pro kruhové potrubí [23].....	33
Obr. 1.23 – Talířový ventil KO 100 [23] .....	35
Obr. 1.24 – Charakteristika hluku talířového ventilku KO 100 [23].....	36
Obr. 1.25 – Vířivý anemostat [20].....	36
Obr. 1.26 – Plechová protidešťová žaluzie PDZM [36] .....	37
Obr. 2.1 – Výkresová dokumentace 1. PP .....	38
Obr. 2.2 – Výkresová dokumentace 1. NP .....	39
Obr. 2.3 – Výkresová dokumentace 2. NP .....	39
Obr. 2.4 – Jablotron Futura L [30].....	46
Obr. 2.5 – Atrea Duplex ECV5 380 [31] .....	47
Obr. 2.6 – Vaillant recoVAIR VAR 360/4 [32].....	48
Obr. 3.1 – 1. PP schéma potrubní sítě (varianta č. 1) .....	51
Obr. 3.2 – 1. NP schéma potrubní sítě (varianta č. 1) .....	52
Obr. 3.3 – 2. NP schéma potrubní sítě (varianta č. 1) .....	53
Obr. 3.4 – 1. PP schéma potrubní sítě (varianta č. 2) .....	54
Obr. 3.5 – 1. NP schéma potrubní sítě (varianta č. 2) .....	55
Obr. 3.6 – 2. NP schéma potrubní sítě (varianta č. 2) .....	56
Obr. 3.7 – Moodyho diagram [34] .....	59
Obr. 3.8 – Výpočet ze serveru qpro.cz [35] .....	60

---

Obr. 3.9 – Diagram vyhledávání rychlosti $w_L$ [36].....	65
Obr. 4.1 – Průběh ročních nákladů .....	81
Obr. 4.2 – Průběh ročních nákladů (minimalistická verze).....	82

## SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 – Legenda místností.....	40
Tab. 2.2 – Požadavky na větrání obytných prostorů dle ČSN EN 15665/Z1 [26] .....	41
Tab. 2.3 – Stanovení množství vzduchu dle doporučené intenzity výměny $1,5 \text{ h}^{-1}$ ....	42
Tab. 2.4 – Stanovení doporučeného množství vzduchu.....	42
Tab. 2.5 – Navržené množství vzduchu.....	43
Tab. 2.6 – Technické parametry vybraných jednotek.....	45
Tab. 3.1 – Optimální rychlosti proudění vzduchu [m/s] v potrubí [6] .....	50
Tab. 3.2 – Návrh rozměrů a rychlostí v přívodní síti .....	61
Tab. 3.3 – Návrh rozměrů a rychlostí v odtahové síti.....	62
Tab. 3.4 – Seznam distribučních elementů [36].....	64
Tab. 3.5 – Návrh rychlostí dvouřadých přívodních výustek VNM [36] .....	66
Tab. 3.6 – Seznam potrubních elementů .....	66
Tab. 3.7 – Ztrátové součinitele tvarovek přívodní sítě [35].....	67
Tab. 3.8 – Ztrátové součinitele tvarovek odtahové sítě [35].....	68
Tab. 3.9 – Tlumiče hluku pro jednotku Duplex ECV5 [36] .....	68
Tab. 3.10 – Celková tlaková ztráta pro jednotku Duplex ECV5 380 (přívod) .....	69
Tab. 3.11 – Celková tlaková ztráta pro jednotku Duplex ECV5 380 (odvod).....	69
Tab. 3.12 – Tlumiče hluku pro jednotky recoVAIR VAR 360/4 a Futura L [36], [37] ..	70
Tab. 3.13 – Celková tlaková ztráta pro jednotky recoVAIR VAR 360/4 a Futura L.....	70
Tab. 3.14 – Ztrátové součinitele tvarovek přívodní sítě [35].....	71
Tab. 3.15 – Ztrátové součinitele tvarovek odtahové sítě [35].....	71
Tab. 3.16 – Celková tlaková ztráta pro jednotku Duplex ECV5 380 (přívod) .....	72
Tab. 3.17 – Celková tlaková ztráta pro jednotku Duplex ECV5 380 (odtah) .....	72
Tab. 3.18 – Celková tlaková ztráta pro jednotky recoVAIR VAR 360/4 a Futura L.....	73
Tab. 4.1 – Provozní plán výkonových stupňů.....	76
Tab. 4.2 – Celkové realizační náklady pro Duplex ECV5 380.....	77
Tab. 4.3 – Roční spotřeba energie bez předehřevu (Duplex ECV5 380).....	77
Tab. 4.4 – Celkové realizační náklady pro recoVAIR VAR 360/4.....	78
Tab. 4.5 – Roční spotřeba energie bez předehřevu (recoVAIR VAR 360/4).....	78
Tab. 4.6 – Celkové realizační náklady pro jednotku Fututra L.....	79
Tab. 4.7 – Roční spotřeba energie bez předehřevu (Futura L).....	79
Tab. 4.8 – Shrnutí realizačních a provozních nákladů jednotek.....	80
Tab. 4.9 – Shrnutí minimalistických realizačních a provozních nákladů jednotek .....	81

---

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 3.1 Výkres 1. PP – Duplex
- Příloha č. 3.2 Výkres 1. NP – Duplex, Futura
- Příloha č. 3.3 Výkres 2. NP – Duplex, Recovair, Futura
- Příloha č. 3.4 Výkres Řez B-B – Duplex
- Příloha č. 3.5 Výkres 1. PP – Recovair
- Příloha č. 3.6 Výkres 1. NP – Recovair
- Příloha č. 3.7 Výkres Řez B-B – Recovair
- Příloha č. 3.8 Výkres 1. PP – Futura
- Příloha č. 3.9 Výkres Řez B-B – Futura
- Příloha č. 3.10 Výkres 1. PP – Duplex
- Příloha č. 3.11 Výkres 1. NP – Duplex, Recovair, Futura
- Příloha č. 3.12 Výkres 2. NP – Duplex, Recovair, Futura
- Příloha č. 3.13 Výkres Řez A-A – Duplex
- Příloha č. 3.14 Výkres 1. PP – Recovair
- Příloha č. 3.15 Výkres Řez A-A – Recovair
- Příloha č. 3.16 Výkres 1. PP – Futura
- Příloha č. 3.17 Výkres Řez A-A – Futura
- Příloha č. 3.18 Největší tlaková ztráta varianty č. 1 pro jednotku ECV5 380 (přívod)
- Příloha č. 3.19 Největší tlaková ztráta varianty č. 1 pro jednotku ECV5 380 (odvod)
- Příloha č. 3.20 Největší tlaková ztráta varianty č. 1 pro jednotku VAR 360/4 (přívod)
- Příloha č. 3.21 Největší tlaková ztráta varianty č. 1 pro jednotku VAR 360/4 (odvod)
- Příloha č. 3.22 Největší tlaková ztráta varianty č. 1 pro jednotku Futura L (přívod)
- Příloha č. 3.23 Největší tlaková ztráta varianty č. 1 pro jednotku Futura L (odvod)
- Příloha č. 3.24 Největší tlaková ztráta varianty č. 2 pro jednotku ECV5 380 (přívod)
- Příloha č. 3.25 Největší tlaková ztráta varianty č. 2 pro jednotku ECV5 380 (odvod)
- Příloha č. 3.26 Největší tlaková ztráta varianty č. 2 pro jednotku VAR 360/4 (přívod)
- Příloha č. 3.27 Největší tlaková ztráta varianty č. 2 pro jednotku VAR 360/4 (odvod)
- Příloha č. 3.28 Největší tlaková ztráta varianty č. 2 pro jednotku Futura L (přívod)
- Příloha č. 3.29 Největší tlaková ztráta varianty č. 2 pro jednotku Futura L (odvod)
- Příloha č. 4.1 Seznam položek pro jednotku Duplex ECV 380 (varianta č. 1)
- Příloha č. 4.2 Seznam položek pro jednotku Duplex ECV 380 (varianta č. 2)
- Příloha č. 4.3 Seznam položek pro recoVAIR VAR 360/4 jednotku (varianta č. 1)
- Příloha č. 4.4 Seznam položek pro recoVAIR VAR 360/4 jednotku (varianta č. 2)
- Příloha č. 4.5 Seznam položek pro Futura L jednotku (varianta č. 1)
- Příloha č. 4.6 Seznam položek pro Futura L jednotku (varianta č. 2)