



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

NÁVRH VĚTRÁNÍ OBYTNÝCH PROSTOR

DESIGN OF VENTILATION SYSTEM IN RESIDENTIAL SPACES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Václav Břenek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondřej Pech, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Václav Břenek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Ondřej Pech, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

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 obytných prostor

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Starší zrekonstruované byty a rodinné domy se často potýkají vlivem nových těsných oken a vchodových dveří a zaizolované obálky domu s nedostatečným provětráváním místností. To vede obzvláště v zimním období k značnému nárůstu vlhkosti nad 60 %, která může kondenzovat na chladnějších konstrukcích. Zároveň narůstá množství oxidu uhličitého v místnostech, kdy koncentrace často překračují 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 2021/22

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 byt v panelovém domě. Úvodní kapitola je zaměřena na řešení rekuperačních jednotek a jejich částí. V druhé kapitole je stanoveno potřebné množství větracího vzduchu a jsou vybrány tři větrací jednotky. V třetí kapitole je pro vybrané jednotky navržena trasa vzduchovodů, která je podrobena kontrolnímu výpočtu tlakových ztrát. V poslední kapitole jsou porovnány náklady na realizaci a provoz vybraných jednotek.

Klíčová slova

Větrací jednotka, rekuperace, navržené množství vzduchu, panelový dům

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with design of a ventilation system with recuperation in a chosen flat. The introductory chapter focuses on research of recuperation units and their parts. In the second chapter the required amount of ventilation air is determined, and three recuperation units are selected. In the third chapter the pipeline system is designed for the selected units, which is subjected to a control calculation of pressure losses. The last chapter compares the costs of implementation and operation of selected units.

Key words

Ventilation unit, recuperation, amount of ventilation air, block of flats

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BŘENEK, Václav. *Návrh větrání obytných prostor* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/141031>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Ondřej Pech.

PROHLÁŠENÍ

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

.....
Datum

Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

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

Dále bych chtěl poděkovat své rodině, přátelům a přítelkyni, kteří mi byli po celou dobu studia velkou oporou.

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 Větrací jednotky s rekuperací.....	12
1.1 Rozdělení větracích jednotek.....	12
1.2 Komponenty větracích jednotek.....	12
1.2.1 Ventilátory.....	13
1.2.2 Zařízení ke zpětnému získání tepla (ZZT).....	17
1.2.3 Filtrace vzduchu.....	20
1.2.4 Ohřev vzduchu.....	22
1.2.5 Chlazení vzduchu.....	23
1.2.6 Potrubí a jeho části.....	23
1.2.7 Distribuční prvky.....	26
2 Volba rekuperační jednotky.....	27
2.1 Požadavky na větrání.....	28
2.2 Množství vzduchu.....	28
2.3 Výběr rekuperační jednotky.....	30
2.3.1 Jablotron – Futura L.....	31
2.3.2 Atrea – DUPLEX Easy 300.....	31
2.3.3 Brink – Renovent Sky 300.....	32
3 Návrh potrubní sítě.....	34
3.1 Trasa potrubní sítě.....	34
3.2 Kontrolní výpočet potrubní sítě.....	36
3.3 Montáž jednotek a vzduchovodů.....	40
4 Náklady.....	41
4.1 Náklady na provoz.....	41
4.2 Náklady na servis.....	42
4.3 Pořizovací náklady.....	43
4.4 Celkové náklady.....	43
ZÁVĚR.....	44
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	45
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	47
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	49
SEZNAM TABULEK.....	50
SEZNAM PŘÍLOH.....	51

ÚVOD

V současné době je kladen velký důraz na snížení tepelných ztrát budov. U starších domů a bytových jednotek se k minimalizaci tepelných ztrát využívá zateplení vnějšího zdiva nebo výměna zastaralých oken a dveří. Tato řešení dosahují požadovaných výsledků, avšak mají svá úskalí, vlivem neprůdušnosti plastových oken dochází k omezení proudění vzduchu a tím zhoršení kvality ovzduší v obytných prostorech. Výměna vzduchu může probíhat otevíráním oken, což je však nevhodné řešení z pohledu problematiky tepelných ztrát. Zhoršení kvality ovzduší se projevuje zejména nárůstem koncentrace CO₂, která často překračuje hodnotu 3000 ppm. Rovněž dochází k nárůstu relativní vzdušné vlhkosti a také ke zvýšené koncentraci dalších škodlivin vzniklých při domácích činnostech. Tyto podmínky jsou nevhodné pro dlouhodobý pobyt člověka [1].

Vhodným řešením těchto nežádoucích účinků a zároveň zachování nízkých tepelných ztrát je použití nuceného větrání s rekuperací tepla. Rekuperační jednotky díky zpětnému získávání tepla snižují potřebnou energii k vyrovnání teplotních rozdílů mezi vnitřní a venkovní teplotou, a zároveň disponují filtrací přiváděného i odváděného vzduchu [1].

1 Větrací jednotky s rekuperací

Větrací jednotky mají za úkol výměnu vzduchu v uzavřeném prostoru, odvádí odpadní vzduch a nahrazují jej čerstvým vzduchem. Kvalita venkovního vzduchu je upravována pomocí filtrů umístěných přímo ve větrací jednotce, v které se nachází rekuperační výměník, který zajišťuje zpětné získávání tepla z odpadního vzduchu. Návrh jednotky probíhá podle požadavků na množství dodávaného vzduchu. Jednotka také může obsahovat výměníky pro topení a chlazení.

1.1 Rozdělení větracích jednotek

V současné době existuje na trhu mnoho provedení větracích jednotek, odlišují se provedením a využitím.

Jednotky lze dle Rubinové [4] rozdělit podle konstrukčního provedení:

- vnitřní (stojící na podlaze),
- podstropní (k zavěšení pod strop nebo na stěnu),
- hygienické (pro čisté prostory ve zdravotnictví),
- venkovní (upravené pro odolnost vůči povětrnostním podmínkám),
- nevýbušné,
- seizmicky odolné.

Dále lze rozdělit podle provedení [4]:

- komfortní (pro prostory se zvýšeným počtem osob např. kina),
- průmyslové (pro výrobní prostory),
- technologické (k provozu zařízení např. CO₂ – Laser),
- účelové (např. odmlžování, havarijní větrání).

Rozdělení podle tlakových poměrů [4]:

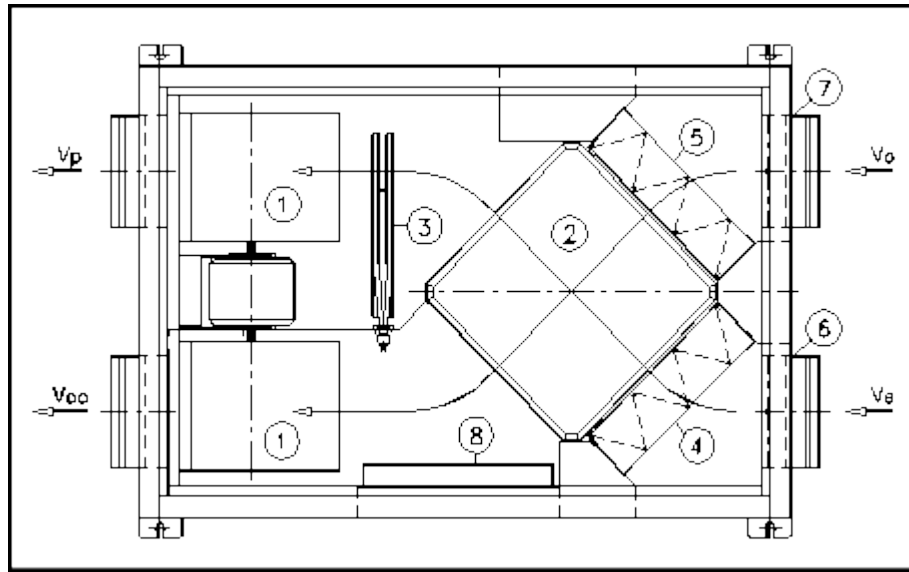
- přetlakové větrání (nedovoluje průnik vzduchu z okolního prostoru),
- podtlakové větrání (zamezuje průnik vzduchu do okolního prostoru),
- rovnotlakové větrání (stejně množství přivedeného a odvedeného vzduchu).

Rozdělení podle umístění [4]:

- centrální (ústřední) – umístěny ve strojovně, obsluhují více místností,
- decentrální (lokální) – mnohem menší, zpravidla umístěny přímo ve větrané místnosti.

1.2 Komponenty větracích jednotek

Vzduchotechnická jednotka je kompaktní zařízení skládající se z jednotlivých komponent umístěných v pevném plášti. Plášť musí zajišťovat vzduchotěsnost celé jednotky. Přiváděný čerstvý vzduch musí být upraven ve větrací jednotce (viz. obr. 1.1).



Obr. 1.1 — Schéma větrací jednotky s rekuperací [7]

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

Vlastnosti přiváděného vzduchu musí být upraveny tak, aby konečná kvalita byla přijatelná pro osoby, proto vzduch prochází přes zařízení, které tyto vlastnosti upravují.

1.2.1 Ventilátory

Ventilátory představují lopatkové rotační stroje, jež slouží pro dopravu vzduchu, plynů, páry nebo jiných směsí. Jsou hlavní a nepostradatelnou částí vzduchotechnické jednotky a jsou navrženy tak aby pokryly tlakové ztráty v potrubí. Ventilátory můžeme rozdělit podle dvou základních kritérií: směr průtoku vzduchu a velikost celkového tlaku [1].

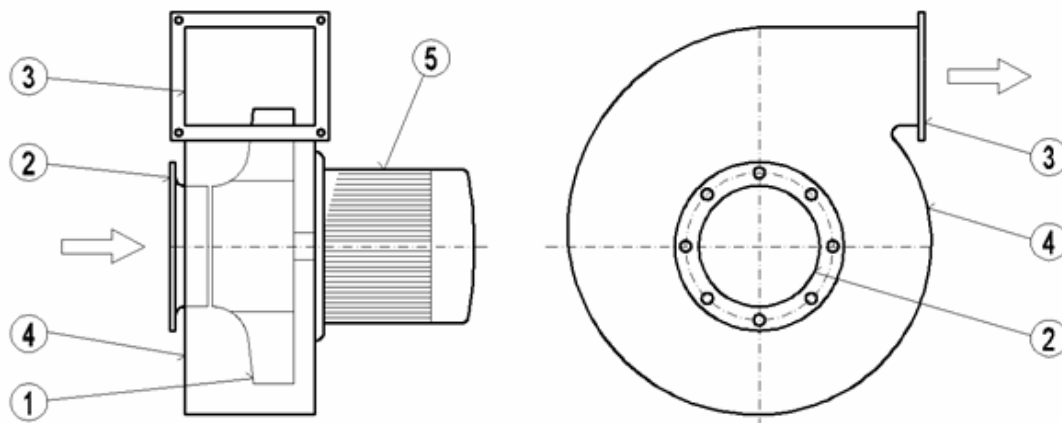
Dle směru průtoku vzduchu:

- Axiální
- Radiální
- Diagonální
- Diametrální

Dle velikosti celkového tlaku:

- Nízkotlaké (do 1 kPa)
- Středotlaké (od 1 do 3 kPa)
- Vysokotlaké (přes 3 kPa)

Největší uplatnění u větracích jednotek mají radiální ventilátory (viz. Obr 1.2), do nichž vzduch vstupuje rovnoběžně s osou rotace a vystupuje kolmo na osu rotace neboli radiálně. Radiální ventilátor se skládá z oběžného kola, na kterém jsou umístěny lopatky. Můžeme je rozdělit podle zahnutí lopatek na: dopředu zahnuté, dozadu zahnuté a radiálně zakončené. Dalšími částmi radiálního ventilátoru jsou sací hrdlo, výtláčné hrdlo a spirální skříň. Oběžné kolo je umístěno ve spirální skříni, která přeměňuje kinetickou energii na tlakovou [1].



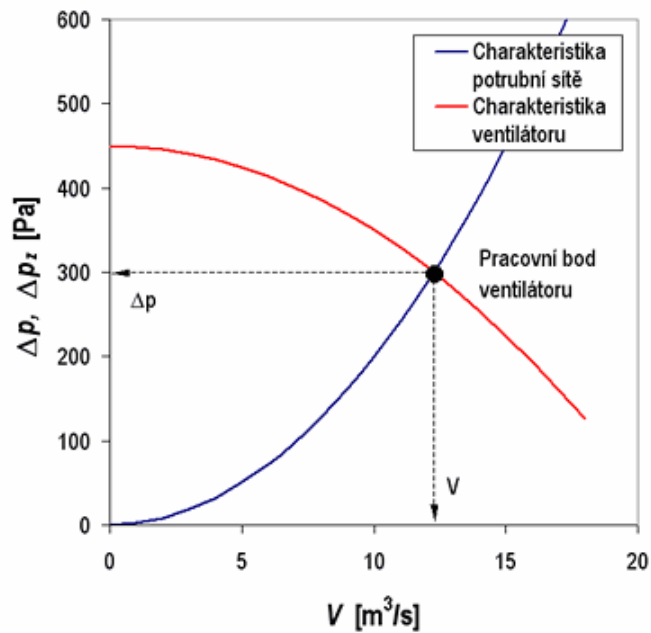
Obr. 1.2 — Radiální ventilátor [5]

(1) – Oběžné kolo; (2) – Sací hrdlo; (3) – Výtláčné hrdlo; (4) – Spirální skříň; (5) – elektromotor

Axiální ventilátory dopravují vzduch rovnoběžně s osou rotace, dosahují však větší hlučnosti než radiální ventilátory. Používají se zejména pokud je požadován velký průtok vzduchu při nízkých tlacích. Můžeme je rozdělit na přetlakové a rovnotlaké, u přetlakových je statický tlak vyšší za oběžným kolem než před ním [1].

Charakteristiky ventilátorů

Provozní bod představuje podmínky, při kterých pracuje ventilátor připojený do sítě. Tento bod tvoří průsečík tlakové charakteristiky ventilátoru s charakteristikou sítě. Tlakovou charakteristiku ventilátoru můžeme definovat jako závislost dopravního tlaku Δp_{cv} na průtoku \dot{V} při standardní hustotě vzduchu ρ a konstantních otáčkách n (viz obr. 1.3). Charakteristika sítě je popsána jako přibližně parabolická závislost přetlaku Δp potřebného k dosažení průtoku \dot{V} . viz rovnice (1.1).



Obr. 1.3 — Charakteristika ventilátoru a potrubní sítě [17]

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

Kde:

Δp	[Pa]	Přetlak
\dot{V}	[m ³ /s]	Objemový průtok
C	[kg/m ⁷]	Konstanta dané sítě.

Pro porovnávání různých typů a velikostí ventilátorů nám slouží bezrozměrná čísla, viz rovnice (1.2, 1.3 a 1.4)

Tlakové číslo ψ :

$$\psi = \frac{\Delta p_{cv}}{\frac{\rho}{2} \cdot u_2^2} \quad (1.2)$$

Průtokové číslo φ :

$$\varphi = \frac{\dot{V}}{\frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \cdot u_2} \quad (1.3)$$

Výkonové číslo λ :

$$\lambda = \frac{\varphi \cdot \psi}{\eta_c} \quad (1.4)$$

Kde:

Δp_{cv}	[Pa]	Přetlak
u_2	[m/s]	Obvodová rychlost
d_2	[m]	Průměr oběžného kola
\dot{V}	[m ³ /s]	Objemový průtok
ρ	[kg/m ³]	Hustota
η_c	[1]	Účinnost ventilátoru

Regulace ventilátorů

Regulace průtoku dopravovaného vzduchu může probíhat přerušováním chodu, změnou otáček oběžného kola, škrcením nebo natáčením lopatek.

Při regulaci škrcením dochází ke změně charakteristiky sítě provázeným změnou pracovního bodu a zvýšením tlakové ztráty. Škrcení probíhá nejčastěji pomocí klappek.

Změna otáček je jednou z nejhospodárnějších metod regulace, dochází při ní ke změně charakteristiky ventilátoru. Při správném navržení ventilátor pracuje s nejvyšší možnou účinností, změnou otáček a tím změnou pracovního bodu dochází k jejímu snížení.

Hluk ventilátorů

Příčinou velké hlučnosti větracích jednotek jsou právě ventilátory. Míru hlučnosti lze však regulovat hned několika způsoby, první z nich je zvětšení průměru potrubí případně použití izolace nebo tlumičů hluku.

Uložení ventilátoru ve valivých ložiscích je hlučnější než u kluzných, jelikož málo odolávají působení dynamické nevyváženosti kol. Ventilátory jsou nejméně hlučné, pokud pracují s nejvyšší možnou účinností [1].

Pohon ventilátorů

K pohonu ventilátorů se nejčastěji používají stejnosměrné elektromotory (DC, EC), nebo střídavé elektromotory (AC) [2],[9].

Výhodou AC elektromotorů je nízká pořizovací cena a jednoduchá konstrukce. Můžeme je rozdělit na asynchronní (indukční) motory a synchronní motory. U asynchronních motorů je magnetické pole statoru vytvořeno ze vstupního napětí a pole rotoru je indukováno magnetickým polem statoru. Asynchronní motory pracují na neměnné frekvenci, proto je regulace možná pouze změnou napětí. Synchronní motory využívají proud pro vytvoření magnetického pole, který prochází přes sběrací kroužky nebo permanentní magnet. U synchronních motorů nedochází k prokluzu jako u indukčních motorů. Střídavé motory však nedosahují takové účinnosti, proto se ve vzduchotechnických jednotkách používají jen výjimečně. Nižší účinnost je zapříčiněna vynaložením větší energie pro vytvoření magnetického pole. Nejvyšší účinnosti dosahují při konstantním zatížení na výkonové křivce [9].

Stejnosměrné DC elektromotory využívají uhlíkové kartáče a komutační kroužek pro přepínání směru proudu a polarity magnetického pole. Dosahují vysoké účinnosti ale v důsledku odporu vinutí, tření kartáčů a ztrát vířivými proudy dochází k značnému poklesu účinnosti [9].

EC motory jsou řízené externí elektronikou, a to buď deskou s elektronickými obvody nebo frekvenčním měničem. Rotor EC motorů obsahuje permanentní magnety a stator je tvořen sadou pevných vinutí. EC motory oproti DC motorům neobsahují kartáče, proto nedochází k jiskření a tím se zvyšuje životnost. Výhodami EC motorů je možnost plynulé regulace otáček pomocí frekvenčního měniče, vyšší účinnost, protože nedochází ke skluzu jako u AC elektromotorů, ale také snížená hlučnost a nižší teplota motoru [9].

1.2.2 Zařízení ke zpětnému získání tepla (ZZT)

Zařízení určené k zpětnému získání tepla nazýváme tepelné výměníky, které pro svou funkci potřebují rozdíl teplot, respektive vlhkosti. V tepelných výměnících dochází k předávání tepla mezi odváděným a přiváděným vzduchem bez jejich přímého kontaktu. Zpravidla se jedná o přenos citelného tepla (změna teploty), některé druhy však umožňují i přenos latentního tepla (změna vlhkosti). Entalpické výměníky přenášejí jak citelné, tak i latentní teplo.

Základní rozdělení ZZT:

- Rekuperační
- Regenerační

ZZT je umožněno získáváním energie odpadního vzduchu. Tento proces pracuje s určitou účinností, kterou vyjadřuje rovnice (1.5).

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

kde:

η	[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

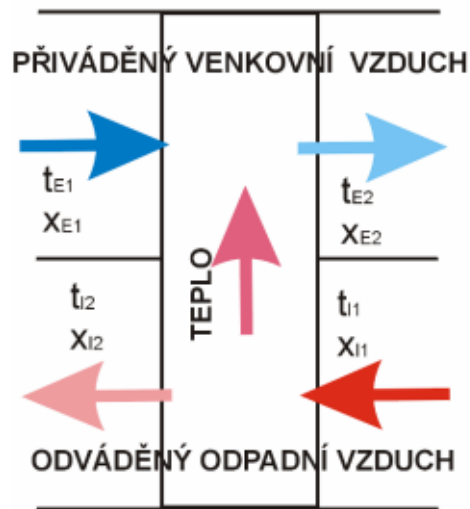
Zařízení se zpětným získáváním vlhkosti je popsáno vlhkostním faktorem ψ (viz rovnice 1.6).

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

Kde:

ψ	[1]	vlhkostní faktor
x_{E1}	[g/kg _{s.v.}]	měrná vlhkost přiváděného vzduchu před výměníkem
x_{E2}	[g/kg _{s.v.}]	měrná vlhkost přiváděného vzduchu za výměníkem
x_{I1}	[g/kg _{s.v.}]	měrná vlhkost odváděného vzduchu před výměníkem

Význam veličin použitých v rovnicích (1.5, 1.6), lze vidět na obrázku (1.4).



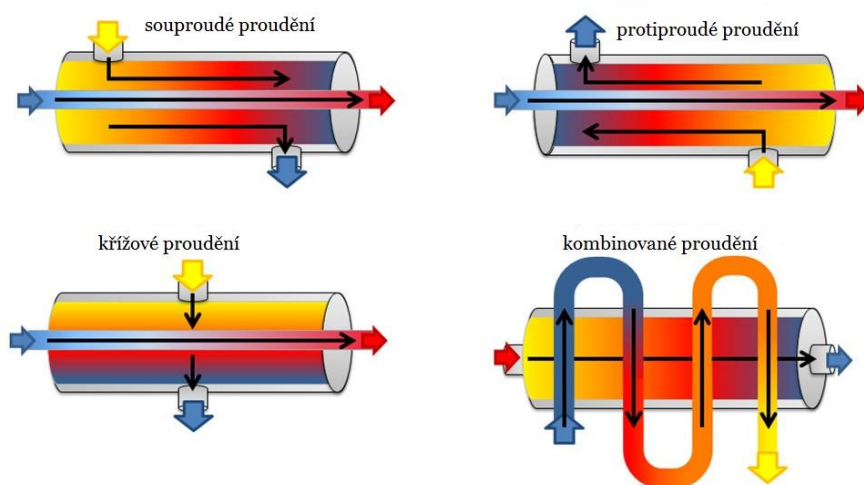
Obr. 1.4 — Schéma Zpětného získávání tepla [12]

Rekupační výměníky

K předání tepla dochází přímo přes stěnu výměníku mezi přiváděným venkovním vzduchem a odváděným vzduchem, nebo prostřednictvím pomocné tekutiny. S rostoucí velikostí teplosměnné plochy roste tepelný výkon výměníku.

Rozdělení rekupačních výměníků podle toku tekutin (viz obr. 1.5):

- Souproudé
- Protiproudé
- Křížové
- Kombinované



Obr. 1.5 — Směry toku tekutin [15]

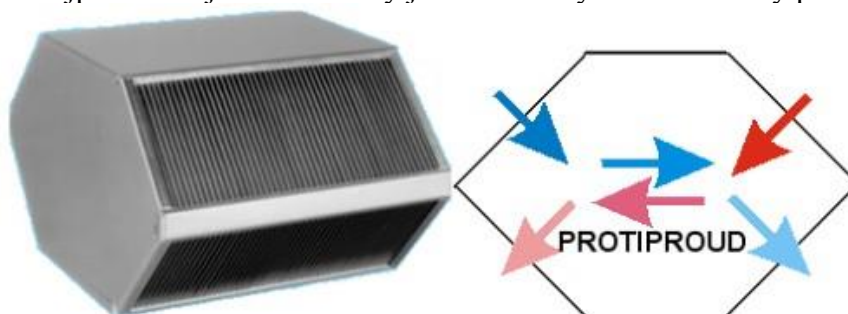
Nejvyšší účinnosti je dosaženo u protiproudých výměníků, naopak nejmenší u výměníku souprroudých. Křížové a kombinované výměníky nabývají účinnosti v rozmezí mezi souprroudým a protiproudým výměníkem.

Rozdělení podle mechanismu pro zisk tepla:

- Kapalinové okruhy
- Deskové výměníky
- Tepelné trubice
- Tepelná čerpadla

Kapalinový okruh slouží pro spojení dvou nejčastěji lamelových výměníků na libovolnou vzdálenost. Pro přenos tepla se využívá systém odvodní vzduch – teplonosná kapalina – přívodní vzduch. Nejčastější druh teplonosné kapaliny je nemrzoucí směs. Nevýhodou je větší spotřeba energie v důsledku použití čerpadla pro přepravu teplonosné kapaliny. Největší uplatnění těchto systémů nalezneme tehdy, když není možné měnit již zabudované trasy vzduchotechnického potrubí (např. historické objekty nebo rekonstruované budovy). Při použití velkého počtu řad dosahuje účinnosti v rozmezí 60-70 %, běžně bývá účinnost výrazně nižší [11].

Deskové výměníky (viz obr. 1.6) jsou v současnosti nejpoužívanější. Díky změně konstrukce z původních čtvercových průřezů s křížovým prouděním na šestiúhelníkové průřezy s protiproudým prouděním došlo k nárůstu účinnosti až na 80-90 %. Hlavní výhodou deskových výměníků je možnost kondenzace, která zvyšuje účinnost. Další výhodou je bezpečné oddělení přívodního a odvodního vzduchu. Nejpoužívanějšími materiály jsou hliníkový nebo nerezový plech a plast [11].



Obr 1.6 — Deskový protiproudý výměník [12]

Další možností ZZT je použití tepelných trubic. Proudění odváděného vzduchu kolem spodní části trubice způsobuje var a následné odpařování náplně obsažené v trubici, obvykle freon, čpavek nebo voda. Proudění studeného vzduchu kolem horní části trubice způsobuje ochlazování par a jejich kondenzaci. Náplň trubice steče zpět do spodní části a celý proces se opakuje. Maximální účinnost tepelných trubic je 65 % [11].

Tepelná čerpadla pohání práce kompresoru, který k přenosu tepla využívá kondenzační a výparné teplo chladivové náplně. Nejčastější využití naleznou u třítrubkových systémů, které umožňují regulaci průtoku chladiva. Předávání tepla probíhá nejen mezi vnitřním a venkovním prostředím ale i mezi částmi budovy s rozdílnou teplotou. Pokud nedochází k zisku tepla z odpadního vzduchu, nejedná se o ZZT. Tepelná čerpadla lze také použít jako náhradu ohřívače ve vzduchotechnických jednotkách, což umožňuje přívod vzduchu o stejné teplotě jako je teplota odváděného vzduchu [11].

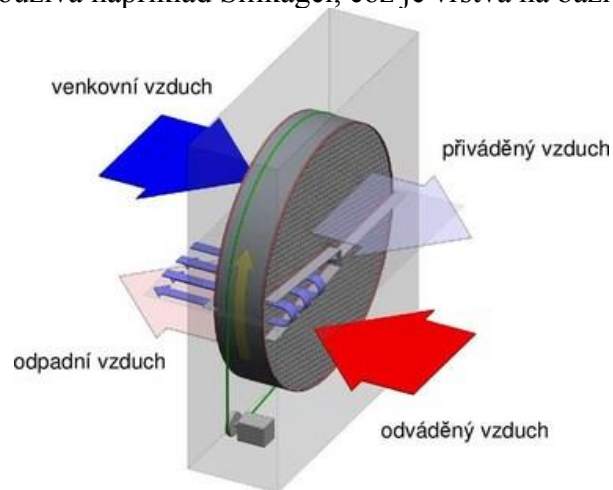
Regenerační výměníky

Regenerační výměníky přenášejí teplo pomocí akumulární hmoty. Přenos tepla z teplejšího na chladnější proud vzduchu je umožněn střídavým ohříváním a ochlazováním akumulární hmoty.

Rozdělení regeneračních výměníků podle konstrukce:

- Rotační
- Přepínací

U rotačních výměníků jsou akumulární hmotou nejčastěji hliníkové plechy umístěné na rotoru. Rotor vlivem rotace akumuluje energii odváděného vzduchu do hmoty rotoru, kterou pak předává do proudu přiváděného vzduchu (viz obr. 1.7). Vysoká účinnost (80-90 %) je zapříčiněna zejména několikanásobně větší velikostí teplosměnné plochy oproti jiným zařízením určeným k ZZT, ale také schopností přenášet jak citelné, tak i latentní teplo. Pro lepší přenos vlhkosti se v současné době používá například Silikagel, což je vrstva na bázi oxidu křemičitého.



Obr. 1.7 — Rotační regenerační výměník [10]

U přepínacích výměníků naopak akumulární hmota setrvává ve stejné poloze a mění se pouze směr proudění vzduchu. Přepínání je realizováno pomocí automaticky ovládaných klapek. Nevýhoda tohoto systému spočívá v míšení přiváděného vzduchu s 5-10 % celkového objemu vzduchu odvodního, vlivem přepínání klapek.

1.2.3 Filtrace vzduchu

Filtrace přiváděného vzduchu je nepostradatelná pro dosažení požadované kvality ovzduší ve větraném prostoru. Filtrace odváděného vzduchu je taktéž nezbytná pro správný chod tepelných výměníků, neboť je chrání před vstupem nečistot. Při vysokých požadavcích na čistotu vzduchu je využita vícestupňová filtrace [2].

Základní rozdělení filtrů:

- Atmosférické
- Sorpční

Při filtraci atmosférického vzduchu dochází k odlučování částic o velikosti 0,01 -100 μm . Základními charakteristikami filtrů jsou celková odlučnost O_c , tlaková ztráta filtru a s tím spojená jímavost a životnost filtru [2].

Třídění filtrů podle odlučnosti:

- Hrubé (třída G)
- Jemné (třída F)
- Vysoce účinné (HEPA – třída H, ULPA – třída U)

Hrubé filtry jsou účinné proti pylu a prachu, jemné filtry navíc zachycují saze, tabákový kouř, olejovou mlhu a bakterie. Vysoce účinné dokážou zachytit i mikročástice a viry. Podle provedení můžeme filtry rozdělit na pásové a vložkové, pro větrání rodinných domů a bytů se ve větracích jednotkách používají vložkové filtry, které se rozdělují na:

- Deskové
- Kapsové
- Skládané

Výhodou vložkových filtrů je možnost výměny samotného filtru ve formě vložky, která se nejčastěji vkládá do kovových, plastových nebo kartonových rámečků. Filtrační materiál je ve formě vláken (syntetická, skleněná a organická), pro zlepšení soudržnosti je použita impregnační látka, vpichovací nebo papírenská technologie. Kapsové filtry naleznou využití u větších větracích jednotek, jelikož zabírají více prostoru [2].

Sorpční filtry (viz Obr. 1.8) se využívají k zachycení znečišťujících plynů a pachů pomocí adsorpčního procesu, při kterém vlivem difúze dochází k zachycování plynných látek na povrchu pevných látek. Nejpoužívanějšími sorpčními látkami je aktivní uhlí nebo aktivní koks, které disponují velkým měrným povrchem. Z důvodu velké citlivosti aktivního uhlí na prach je nutno použít předfiltry třídy F-7, aby nedošlo k snížení životnosti a zvýšení tlakové ztráty vlivem zanášení. Vrstva sorpční látky se nanáší na válcové patrony, které se montují na nosnou desku, velikost filtru je určena počtem paralelně řazených patron. Z prostorových důvodů je pro některé účely vhodnější využít deskových filtračních vložek, kde je sorpční látka součástí mezivrstvy atmosférického filtru. [2].



Obr. 1.8 — Sorpční filtr s aktivním uhlím [20]

1.2.4 Ohřev vzduchu

Předeřev vzduchu na nadnulovou teplotu bývá zařazen jako první úprava vzduchu. Vlivem poklesu teplot pod bod mrazu by bez předeřevu docházelo k namrzání vzdušné vlhkosti v rekuperačním výměníku, což by vedlo k snížení jeho účinnosti, ucpání, případně jeho poškození. Předeřivače jsou proto umístovány buď do přívodního potrubí nebo jsou přímo součástí větrací jednotky. Za výměníkem ZZT může následovat hlavní ohřev vzduchu. Nejpoužívanějšími druhy ohřivačů jsou vodní a elektrické [1].

Vodní ohřivače pracují na principu přenosu tepla voda-vzduch. V případě zvýšeného nebezpečí zamrznutí se používají výměníky z hladkých trubek. Trubky mají buď kruhový nebo rozválcovaný oválný tvar. Průtok vody musí dosahovat rychlostí alespoň 0,7 m/s, aby nemohlo dojít k zamrznutí. Z důvodu relativně malého povrchu na straně vzduchu a nutnosti ohřátí vzduchu o 15 až 20 K, je potřeba velké množství trubek. Pro zvýšení teplosměnné plochy se používají výměníky s žebrovaným povrchem [1].

Elektrické ohřivače (viz. obr. 1.9) se používají, pokud není k dispozici jiný zdroj tepla. Topné články dosahující výkonu až 3 kW jsou poměrně malé a jejich tvar lze přizpůsobit potřebám instalace. Elektrické ohřivače mají několik nevýhod jako např. cena elektrické energie nebo vysoká teplota topných těles na která se může napalovat prach. Jako materiál topných odporů se používají slitiny, které obsahují nikl, železo, chróm, případně mangan, hliník a kobalt. Zavádí se opatření, které zamezují snížení životnosti ohřivačů. Povrchová teplota by neměla překročit 350 °C, rychlost proudění vzduchu musí být minimálně 1,5 m/s a nedoporučuje se použití při vlhkostech vzduchu nad 60 % [1].



Obr 1.9 — Elektrický ohřivač pro kruhové potrubí [13]

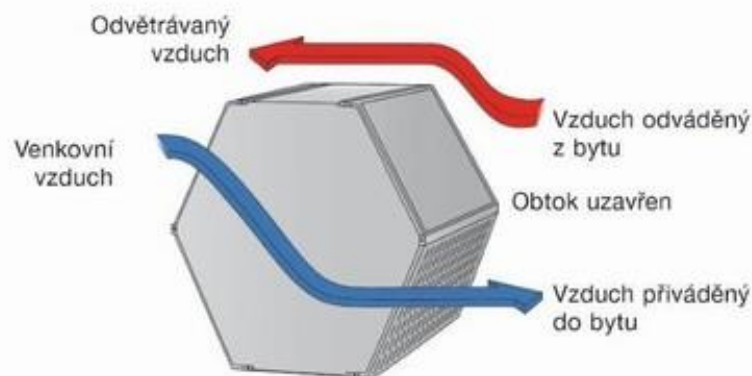
Další možností ochrany proti zamrznání je použití zemního (kapalinového nebo vzduchového) výměníku, který využívá téměř konstantní teplotu zeminy, jenž se pohybuje v rozmezí 8–12 °C, kdy v zimních měsících dochází k ohřevu vzduchu a v letních naopak k jeho ochlazení. U vzduchových zemních výměníků je venkovní vzduch nasáván do větrací jednotky potrubím, které je vedeno v minimální hloubce 1,2 metru pod zemí. Nevýhodou tohoto systému je poměrně malá účinnost, velké pořizovací náklady a nebezpečí zaplavení spodní vodou. Kapalinový zemní výměník využívá k udržování teploty přiváděného vzduchu uzavřený okruh potrubí s nemrznoucí kapalinou tzv. solankový kolektor. Tepelná energie získaná solankou se předává pomocí výměníku tepla do nasávaného vzduchu. Kapalinový výměník má oproti vzduchovému vyšší účinnost a v zimním období chrání větrací jednotku proti námraze [18].

1.2.5 Chlazení vzduchu

V letních dnech dochází k průchodu slunečního záření skrze okna, což vede ke zvyšování vnitřní teploty. Pro udržení tepelné pohody uvnitř budov je potřeba použít chladicí zařízení.

Jednou z možností je použití zemního výměníku (viz kapitola 1.2.4). Další možností je použití vodního chlazení, které bývá převážně konstruováno z lamelových trubek. Rozdíl mezi teplotami ochlazovaného vzduchu a chladicí kapaliny je menší než u ohřívače, proto musí být rozměr teplosměnné plochy větší. Chlazení může probíhat bez kondenzace nebo s kondenzací vodních par, a to podle toho jaká je povrchová teplota chladiče vzhledem k teplotě rosného bodu přiváděného vzduchu [6],[1].

Často používaná metoda pro chlazení je použití tzv. bypass klapky (viz obr. 1.10). Největší využití tohoto systému je v letním období a v nočních hodinách, kdy teplota venkovního vzduchu je nižší než teplota uvnitř budovy. Při otevření klapky dochází k zamezení vstupu odpadního vzduchu do tepelného výměníku, proto nedochází k ohřívání přiváděného vzduchu. Tato metoda chlazení je nejekonomičtější, jelikož je její konstrukční provedení jednoduché a finančně nenáročné [18].



Obr. 1.10 — princip bypass klapky [18]

1.2.6 Potrubí a jeho části

Potrubí je využíváno pro přívod a odvod vzduchu ve větraných místnostech. Z hlediska konstrukčního provedení se jedná o kruhový nebo čtyřhranný průřez. U kruhového potrubí je při výrobě nižší spotřeba materiálu a při provozu dochází k menšímu zanášení prachem. Čtyřhranné potrubí se lépe přizpůsobuje stavbě, výroba tvarových kusů je snazší než u kruhového potrubí [2].

Rozdělení podle použitého materiálu:

- **Ocelový pozinkovaný plech** – jedná se o nejčastější materiál. Plech o tloušťce 0,5 – 3 mm je tvarován do čtyřhranného nebo kruhového průřezu (tzv. SPIRO potrubí). SPIRO potrubí je vyráběno navíjením do kruhového průřezu z pásu plechu (viz obr. 1.11)



Obr. 1.11 — SPIRO potrubí [16]

- **Ohebné hadice z hliníkové fólie** – kostra z ocelového drátu je spirálovitě vinuta mezi dvěma vrstvami AL laminátu. Jejich nevýhodou může být větší náchylnost na zanášení kvůli tomu, že nemají hladký vnitřní povrch. Využití naleznou jako spojovací prvek v těžko dostupných prostorech, další nevýhodou je navýšení tlakových ztrát v ohybech.



Obr. 1.12 — ALUFLEX HYGIENIC [16]

- **Ohebné hadice z PE, PVC** – hlavními výhodami jsou nízká hmotnost a vysoká životnost. Vyrábí se ve dvou provedení, zelené je oproti modrému opatřeno antibakteriálním nátěrem na vnitřní straně. Díky menšímu průměru naleznou využití zejména u vzduchovodů v rodinných domech a bytech, kde se řeší problém nízkých podhledů. Pro propojení s větrací jednotkou se využívá rozváděcího boxu.



Obr. 1.13 — Flexibilní potrubí ED Flex Hygienic [16]

Izolace potrubí

Při přestupu tepla stěnami vzduchovodů dochází k tepelným ztrátám, případně ziskům, jenž způsobují změnu teploty přiváděného vzduchu, což bývá příčinou poruch. Tepelná izolace potrubí kompenzuje změnu teploty vzduchu a taktéž snižuje nebezpečí vzniku kondenzace vlhkosti. Při vyšších rychlostech proudění je vzduch poměrně hlučný proto používáme protihlukovou izolaci, která zajišťuje akustickou pohodu větraných prostor. Pro zamezení požáru se používá protipožární izolace, která v některých případech nahrazuje požární klapky [2],[19].

Součásti vzduchovodů

Tvarové kusy slouží k změně směru a rychlosti nebo k spojení či rozdělení proudů vzduchu. Jejich provedení musí být takové, aby tlaková ztráta byla co nejmenší. Pro snížení tlakových ztrát se do oblouků a kolen vkládají vodící lopatky. Úhel rozšíření by neměl být větší než 15° . [1],[2]

Další součástí vzduchovodů jsou regulační prvky. Regulační klapky se používají pro změnu průtoku vzduchu. Funkcí protipožárních klapek je uzavření přívodu vzduchu, který by podporoval hoření. Tlumiče hluku zabráňují šíření hluku mezi jednotlivými místnostmi a také snižují hluk způsobený provozem ventilátoru (viz obr. 1.14) [2].



Obr. 1.14 — Tlumič hluku pro kruhové potrubí [13]

1.2.7 Distribuční prvky

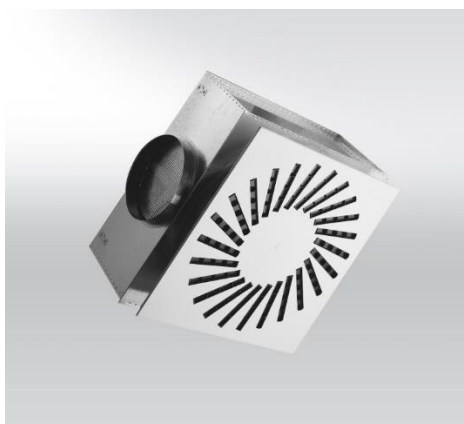
Distribuční prvky zakončují potrubní sítě, jsou nezastupitelnou součástí větracích zařízení a zásadně na nich závisí správná funkce celého systému. Nejčastějšími druhy jsou talířové ventily, anemostaty, výustky a mřížky. Instalace distribučních prvků je možná do stropu, na stěnu nebo do podlahy. Způsob proudění vzduchu podstatně ovlivňuje efektivnost větrání a je určen vzájemnou polohou přívodních a odvodních výustek. Důležitou funkcí výustek je možnost regulace, která probíhá manuálně nebo automaticky [2].

U rodinných domů a bytů se nejčastěji používají talířové ventily (viz obr. 1.15). Ventil je tvořený nasávacím vstupním kuzelem s těsněním, montáž je možná do stěny nebo do stropu. Regulace průtoku a tvaru proudu vzduchu je realizována pomocí nastavitelného středního disku, po dosažení ideálního průtoku je disk zajištěn kontramatkou. Talířový ventil se vyrábí v plastovém nebo kovovém provedení [2].



Obr. 1.15 — Kovový odvodní talířový ventil [13]

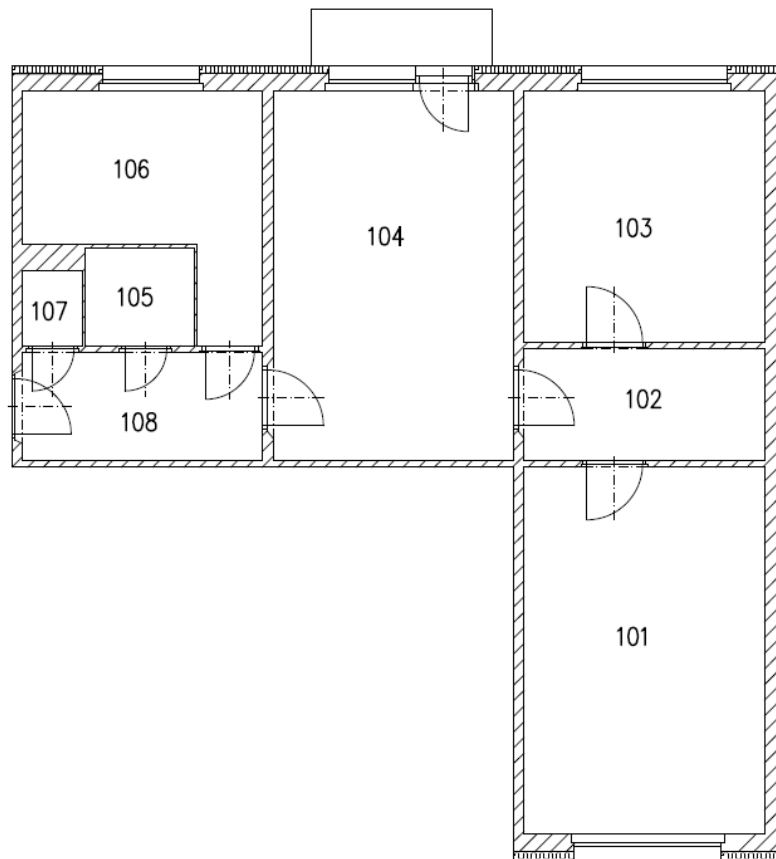
Dalším často používaným distribučním prvkem jsou anemostaty (viz Obr. 1.16), které se používají pro větší průtoky vzduchu a zaručují rovnoměrný přívod vzduchu do všech směrů. Průduchy pro vzduch jsou tvořeny z rozšiřujících se prstenců nebo profilových lamel. Umísťují se do stropů a podhledů.[2]



Obr. 1.16 — vířivý anemostat [13]

2 Volba rekuperační jednotky

Návrh větrání obytných prostor je realizován pro byt 3+1 v panelovém domě v Jeseníku. Byt je obýván čtyřmi osobami. Schéma bytu lze vidět na obrázku 2.1, parametry jednotlivých místností uvádí tabulka 2.1.



Obr. 2.1 — Půdorys bytu

Tab. 2.1 — Parametry místností

Číslo místnosti	Místnost	Podlahová plocha [m ²]	Objem místnosti [m ³]
101	Ložnice	18,16	47,58
102	Komora	5,52	14,46
103	Dětský pokoj	12,44	32,59
104	Obývací pokoj	18,28	47,89
105	Koupelna	2,21	5,79
106	Kuchyň	8,95	23,45
107	Záchod	0,93	2,44
108	Chodba	5,36	14,04
CELKEM		71,85	188,24

2.1 Požadavky na větrání

Výběr větrací jednotky musí být proveden tak, aby byly splněny podmínky mikroklimatu pro nucené větrání. Tyto podmínky udávají přehled o minimálních hodnotách kvality vzduchu a jsou uvedeny ve vyhláškách č. 6/2003 Sb. a č. 268/2009 Sb.

Teplota vzduchu v interiéru by měla v letním období dosahovat hodnot od 22 do 26 °C v zimním období od 20 do 24 °C. Relativní vlhkost může nabývat hodnot v rozmezí 30–70 %, kdy doporučená hodnota je od 50 do 65 %. [21]

Intenzita výměny vzduchu je požadována od 0,3 do 0,7 h⁻¹, kdy doporučená hodnota je 0,5 h⁻¹. Maximální koncentrace CO₂ ve vzduchu je 1500 ppm, tato hodnota nesmí být překročena. [22]

2.2 Množství vzduchu

Volba vhodné rekuperační jednotky se odráží od součtu průtoků vzduchu pro jednotlivé místnosti. Vzduch je třeba přivádět do obývacího pokoje, dětského pokoje, ložnice a kuchyně. Odsávání znehodnoceného vzduchu je třeba zajistit z kuchyně, záchodu a koupelny. Základní požadavky na větrání obytných a hygienických prostor uvádí norma ČSN EN 15665/Z1 (viz. tab 2.2).

Tab. 2.2 - Požadavky na větrání obytných prostorů dle ČSN EN 15665/Z1 [24]

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

Objemový průtok lze navrhnout pomocí dvou stanovisek uvedených v tabulce 2.2, první z nich určuje objemový průtok dle intenzity větrání, která má minimální hodnotu 0,3-0,5 h⁻¹. Vypočtené hodnoty objemových průtoků uvádí tabulka 2.3.

Tab. 2.3 — Průtoky vzduchu dle minimální intenzity větrání

Místnost	Přívod vzduchu	Odvod vzduchu
[-]	[m ³ /h]	[m ³ /h]
Ložnice	30	-
Komora	-	-
Dětský pokoj	30	-
Obývací pokoj	80	-
Koupelna	-	50
Kuchyň	35	100
Záchod	-	25
Chodba	-	-
CELKEM	175	175

Druhé stanovisko uvažuje navržení množství vzduchu dle počtu osob v obytných místnostech a doporučený průtok odsávaného vzduchu pro hygienické místnosti. Tabulka 2.4, zahrnuje doporučené hodnoty, dle normy ČSN EN 15665/Z1.

Tab. 2.4 — Průtoky vzduchu dle doporučeného množství vzduchu

Místnost	Přívod vzduchu	Odvod vzduchu
[-]	[m ³ /h]	[m ³ /h]
Ložnice	50	-
Komora	-	-
Dětský pokoj	50	-
Obývací pokoj	100	-
Koupelna	-	90
Kuchyň	100	160
Záchod	-	50
Chodba	-	-
CELKEM	290	290

Pro předběžný návrh množství větracího vzduchu bereme v potaz, že v ložnici a dětském pokoji pobývají naráz maximálně dva lidé, proto by hodnota průtoku vzduchu pro tyto místnosti měla dosahovat alespoň doporučené dávky na osobu. Obývací pokoj zároveň slouží jako jídelna, proto musí být průtok přiváděného vzduchu dimenzován alespoň pro čtyři osoby, tedy celkový průtok čerstvého vzduchu 100 m³/h. Kuchyně také nesmí být opomenuta, protože je často využívána dvěma osobami. Nárazové odvětrávání z kuchyně, záchodu a koupelny bude omezeno maximálním možným průtokem zvolené jednotky. Koupelna disponuje menším objemem, ale nachází se v ní prací a sušící zařízení, které snižují kvality vzduchu, proto musí být výměna vzduchu dostačující.

Vzhledem k těmto skutečnostem byl určen předběžný návrh množství větracího vzduchu, který ukazuje tabulka 2.5.

Tab. 2.5 — Předběžný návrh množství větracího vzduchu

Místnost	Navržený průtok čerstvého vzduchu	Navržený průtok odpadního vzduchu
[-]	[m ³ /h]	[m ³ /h]
Ložnice	50	-
Komora	-	-
Dětský pokoj	50	-
Obývací pokoj	100	-
Koupelna	-	80
Kuchyň	50	130
Záchod	-	40
Chodba	-	-
CELKEM	250	250

2.3 Výběr rekuperační jednotky

Volba vhodné rekuperační jednotky není jednoduchý úkol, protože se na trhu nachází velké množství rekuperačních jednotek o široké škále využití. Nejdůležitějším parametrem pro výběr rekuperační jednotky je navrhované množství větracího vzduchu. Dalšími důležitými faktory jsou volba uložení a technické parametry, které lze porovnat na základě certifikátů udělených od Passive House Institute (PHI). Tento institut zaujímá důležité místo ve vývoji pasivních domů a stavebních prvků pro energeticky úsporné budovy. Při absenci technické místnosti je potřeba pro umístění jednotky využít chodbu nebo komoru, v těchto místnostech lze uvažovat o pořízení podstropní nebo nástěnné větrací jednotky. Vybrané rekuperační jednotky jsou uvedeny v tabulce 2.6 [23].

Tab. 2.6 — Technické parametry vybraných jednotek

Výrobce	Model	\dot{V}_{max}	Výměník	η	$P_{el,spec}$	L_{WA}	Cena bez DPH
[-]	[-]	[m ³ /h]	[-]	[%]	[Wh/m ³]	[dB(A)]	[Kč]
Brink	Renovent Sky 300	300	Deskový	85	0,31	47,8	60 780
Jablotron	Futura L	350	Entalpický	90	0,44	56,9	91 000
Atrea	DUPLEX Easy 300	300	Deskový	88	0,37	59,9	38 900
Vaillant	recoVAIR 260/4	260	Deskový	87	0,33	46,8	55 890
Paul	Novus 300	300	Deskový	93	0,24	43	77 685
Vents	VUT 350 VB EC A11	350	Deskový	79	0,27	46,9	61 279

2.3.1 Jablotron – Futura L

Větrací jednotka Futura (obr.2.2) od českého výrobce Jablotron se vyrábí ve dvou provedeních, která se odlišují průtokem vzduchu. Obě varianty mají certifikaci PHI a záruku 5 let. Rozměry a hmotnost obou provedení se téměř neliší, zásadním rozdílem je objemový průtok vzduchu, a to Futura M (50–250 m³/h) a Futura L (100-350 m³/h). Vzhledem k navrhovanému množství větracího vzduchu je vhodnější varianta Futura L s referenčním průtokem 245 m³/h [25].



Obr 2.2 — Jablotron Futura [25]

Vnitřní konstrukce jednotky je vyrobena z monolitického expandovaného polypropylenu, který slouží jako protihluková a tepelná izolace. Uvnitř jednotky se nachází 2 ventilátory s EC motory, které umožňují snadnou regulaci a nechybí ani automaticky řízená by-pass klapka. Futura je vybavena entalpickým protiproudým výměníkem, který umožňuje předávání jak citelného, tak latentního tepla. Dále obsahuje 2 filtry třídy F-7, filtraci je možno doplnit o uhlíkový filtr, který se vkládá přímo do jednotky pod filtr přiváděného vzduchu. Řídicí systém nabízí více možností, první z nich je ovládaní na dálku pomocí aplikace MyJABLOTRON, která umožňuje ovládaní všech funkcí, správu a automatické upozornění na výměnu filtrů, druhou možností je automatická regulace pomocí nástěnných CO₂ čidel [25].

Hlavní výhodou jednotky Futura spočívá v bezproblémovém chodu jednotky s přívodním vzduchem o teplotě pod bodem mrazu (až -19 °C), bez použití přehřevu. K jednotce lze připojit přídatný entalpický chladicí modul CoolBreeze, který eliminuje tepelné zisky větráním, umísťuje se na jeden ze čtyř vzduchovodů o průměru 150 mm [25].

2.3.2 Atrea – DUPLEX Easy 300

Rekuperační jednotka Duplex Easy (obr. 2.3) je další jednotkou českého výrobce, v tomto případě od společnosti Atrea, která sídlí v Jablonci nad Nisou. Vyrábí se ve dvou provedeních (Duplex Easy 250 a Duplex Easy 300), obě varianty patří mezi nejlevnější jednotky na trhu. Duplex Easy se vyrábí v univerzálním provedení, proto je montáž možná v parapetní, podstropní i podlahové poloze. Pro správnou funkci musí být zajištěn odvod kondenzátu s dostatečným sklonem. Připojovací hrdla na obou stranách mají průměr 160 mm. [26]



Obr. 2.3 — Atrea Duplex Easy [26]

Plášť jednotky je stejně jako u předchozí jednotky zhotoven z expandovaného polypropylenu. Jednotka využívá plastový vířivý protiproudý rekuperační výměník, dva ventilátory s EC řízením a obsahuje automaticky řízenou by-pass klapku. Pro filtraci přívodního i odpadního vzduchu před vstupem do výměníku využívá filtry třídy G-4 nebo F-7. Pro řízení jednotky je používán digitální dotykový ovladač CPA, pomocí kterého je možné nastavit intenzitu větrání, automaticky ovládat by-pass klapku, zapnout předehřev vzduchu nebo regulovat na konstantní tlak [26].

2.3.3 Brink – Renovent Sky 300

Větrací jednotka Renovent Sky (obr. 2.4), je vyráběna holandskou firmou Brink. Konstrukce jednotky umožňuje její uložení jak v nástěnné, tak podstropní poloze. Jednotka Renovent Sky je vyráběna ve třech výkonnostních variantách s maximálními průtoky vzduchu 150 m³/h, 200 m³/h nebo 300 m³/h. Varianty Sky 150 a Sky 200 jsou vybaveny vestavěným elektrickým předehřevem, který funguje jako automatická ochrana proti zamrznání výměníku. Pro jednotku Sky 300 je nutno připojit externí elektrický předehřev. Všechny verze jsou dále vybaveny automatickou by-pass klapkou. Připojovací hrdla pro verzi Sky 300 mají průměr 160 mm [27].



Obr. 2.4 — Brink Renovent Sky 300 [27]

Ventilátory jednotek jsou poháněny EC motory, které jsou vybaveny automatickou regulací vyvážené dodávky vzduchu. Filtrace probíhá pomocí filtrů třídy G-4, při vyšších požadavcích na čistotu ovzduší mohou být zaměněny filtry třídy F-7. Ve standardní výbavě je jednotka vybavena deskovým protiproudým výměníkem, který lze za příplatek nahradit entalpickým výměníkem s membránovými stěnami. Aplikace Brink Home umožňuje uživateli ovládat ventilační systém a sledovat údaje pomocí smartphonu, tabletu nebo PC. Za příplatek lze dále k jednotce zakoupit rozšiřující příslušenství v podobě CO₂ čidla, vlhkostního čidla a další potrubní elementy.

K jednotce lze také připojit trojcestný ventil, který rozdělí větraný prostor na denní a noční část. Rozdělení sebou přináší zvýšení komfortu ale také další úspory. Větrací jednotka pracuje s menším objemem vzduchu, což vede k zvýšení účinnosti a snížení hlučnosti [27].

3 Návrh potrubní sítě

Návrh potrubní sítě musí být kompatibilní s konstrukcí budovy. Trasa potrubí je určena umístěním výustek a navrhuje se co nejkratší s co nejmenším počtem tvarovek. Návrh dimenzí vzduchovodů závisí na možnostech stavby a doporučených rychlostech proudění ve vzduchovodech (viz tab. 3.1), které zohledňují tlakové ztráty a přijatelnou hlučnost [1].

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

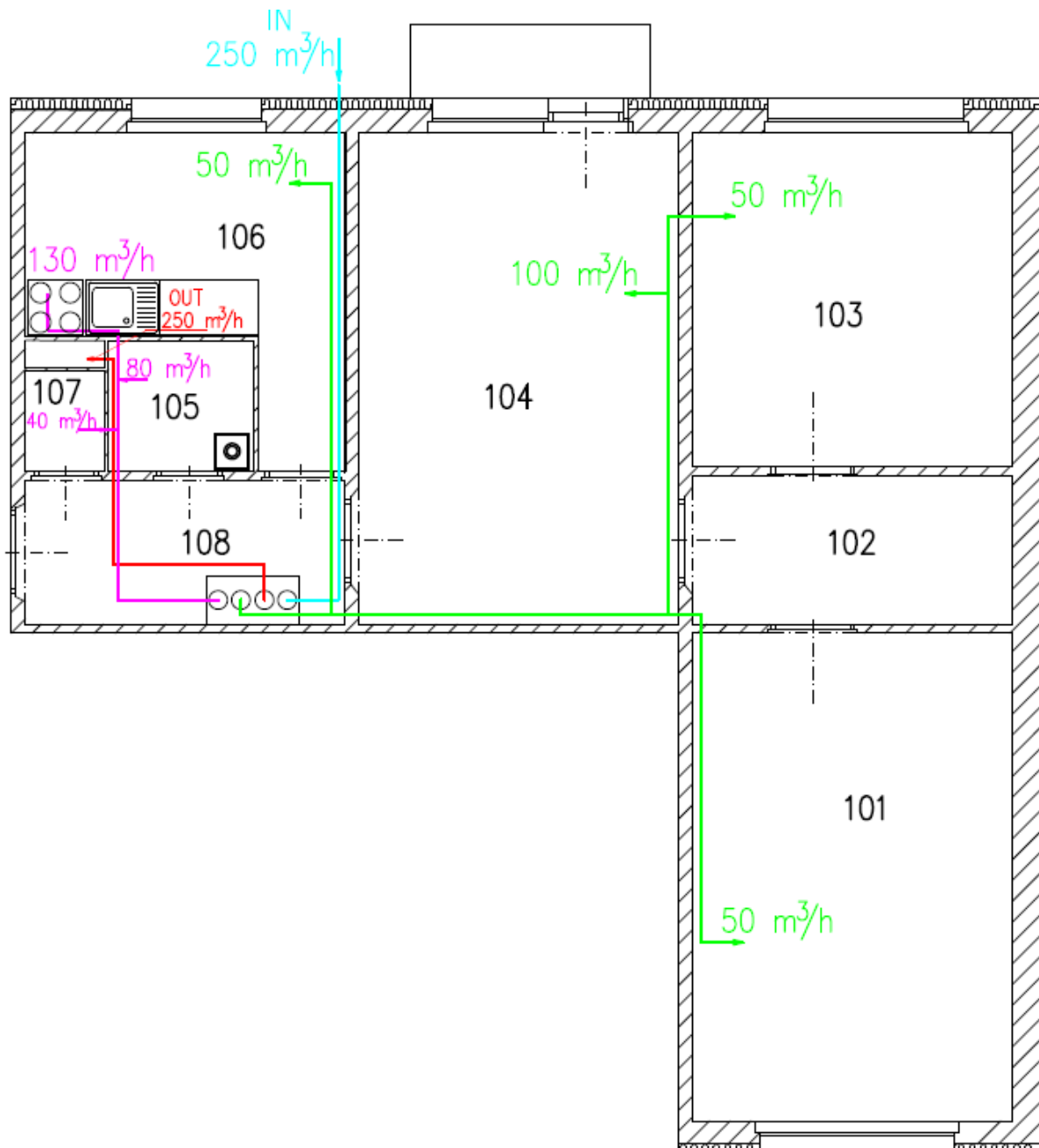
Tab. 3.1 - Doporučené rychlosti (m/s) ve vzduchovodech [1]

Druh zařízení		Větrání nebo nízkotlaká klimatizace			
Druh budovy		obytná		veřejná	
Doporučená rychlost [m/s]		střední	max.	střední	max.
Druh úseku					
potrubí	za ventilátorem (tlumičem hluku)	5	8,5	7,5	11
	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
	ohřivače	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

Trasa potrubní sítě bude téměř totožná pro všechny tři jednotky, které budou umístěny na chodbě. Rozdílné bude pouze připojení jednotek na chodbě, jednotky Duplex Easy a Renovent Sky budou montovány v podstropní poloze, jednotka Futura L bude zavěšena na zdi. Přívodní a odvodní potrubí bude mít průměr podle velikosti hrdel vybraných větracích jednotek, pro Futuru tedy 150 mm, pro Duplex Easy a Renovent Sky 160 mm. Přívodní potrubí povede přes kuchyň, bude tepelně zaizolované a z venkovní části chráněné protidešťovou žaluzií, při variantě s jednotkou Duplex Easy bude nutno na přívodní potrubí umístit externí předehřev. Odvodní potrubí bude vedeno přes koupelnu do šachty, kde se připojí, k již instalovanému odpadnímu potrubí. Odvodní potrubí z rekuperační jednotky do šachty bude také tepelně zaizolované, pro zamezení kondenzace vnější vzdušné vlhkosti.

Na obrázku 3.1 lze vidět konstrukční řešení pro jednotku Futura L, vzduchovody jsou zakresleny pouze schematicky bez reálných dimenzí potrubí. Pro přehlednost obrázku nebyly zakresleny dveře, pouze jejich osa čerchovanou čarou. Výkres konstrukčního řešení je umístěn v příloze práce.



Obr. 3.1 — Schéma potrubní sítě pro jednotku Futura L

Pro zamezení šíření hluku mezi místnostmi budou do potrubní trasy umístěny tlumiče hluku. Jako distribuční prvky budou pro přívodní i odvodní větve použity talířové ventily. Regulování přívodní i odvodní sítě bude realizováno pomocí škrticích klapek. Výkresy potrubní sítě pro zvolené jednotky jsou uvedeny v přílohách práce.

3.2 Kontrolní výpočet potrubní sítě

Navržené potrubní sítě je nutno podrobit kontrolnímu výpočtu na vyhovující dimenze potrubí pro navržené rychlosti (viz tab. 3.1) a také kontrolnímu výpočtu tlakových ztrát. Výsledné tlakové ztráty budou porovnané s parametry ventilátorů vybraných jednotek.

Dle známých doporučených rychlostí a navrhovaných průtoků, můžeme určit průměr kruhového potrubí dle rovnice (3.1), která vychází z rovnice kontinuity.

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

Kde:

D	[m]	průměr kruhového potrubí,
\dot{V}	[m ³ /s]	objemový průtok vzduchu,
w	[m/s]	navržená rychlost proudění v potrubí.

Po výpočtu průměru se zvolí nejbližší normovaný průměr D_{Norm} , pro který se následně vypočte skutečná rychlost proudění vzduchu v potrubí w_s , kterou získáme vyjádřením z rovnice (3.1) viz rovnice (3.2).

$$w_s = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot D_{Norm}^2} \quad (3.2)$$

Kde:

w_s	[m/s]	skutečná rychlost proudění,
D_{Norm}	[m]	normovaný průměr potrubí.

Celková tlaková ztráta ve vybrané větvi vzduchovodu se vypočítá, jako součet místních ztrát a ztrát třením dle rovnice (3.3).

$$\Delta p_c = \Delta p_m + \Delta p_t \quad (3.3)$$

Kde:

Δp_c	[Pa]	Celková tlaková ztráta,
Δp_m	[Pa]	Ztráty místními odpory,
Δp_t	[Pa]	Ztráty třením.

Tlakové ztráty třením vznikají po celé délce potrubí, při proudění v kruhovém potrubí platí rovnice (3.4).

$$\Delta p_t = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (3.4)$$

Kde:

λ	[-]	součinitel tření,
l	[m]	délka potrubí,
ρ	[kg/m ³]	hustota proudící tekutiny.

Součinitel tření obecně závisí na Reynoldsově čísle a na poměrné drsnosti stěn potrubí

$$\lambda = f(Re; \varepsilon/D) \quad (3.5)$$

Kde:

Re	[-]	Reynoldsovo číslo,
ε	[m]	absolutní drsnost stěn potrubí,
ε/D	[-]	relativní drsnost potrubí.

Kritická hodnota Reynoldsova čísla udává přechod z laminárního na turbulentní proudění. Jeho hodnota pro průtok potrubím je $Re_{kr} \sim 2300$. Nad touto hodnotou dochází k turbulentnímu proudění, při kterém se nedá zanedbat vliv tření. Reynoldsovo číslo můžeme vypočítat ze vztahu (3.6).

$$Re = \frac{w \cdot D}{\nu} \quad (3.6)$$

Kde:

ν	[m ² /s]	kinematická viskozita vzduchu.
-------	---------------------	--------------------------------

Kinematickou viskozitu lze vypočítat dle vzorce (3.7)

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (3.7)$$

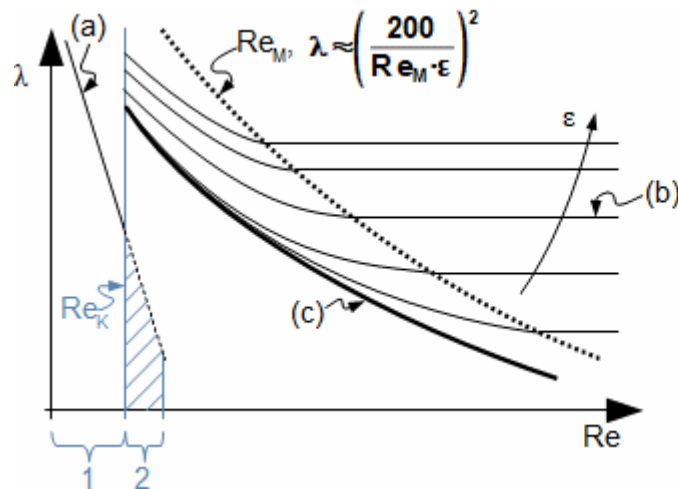
Kde:

η	[Pa·s]	dynamická viskozita.
--------	--------	----------------------

Součinitel tření λ pro laminární proudění určíme ze vztahu (3.8).

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (3.8)$$

Pro turbulentní proudění můžeme součinitel tření určit díky znalosti Reynoldsova čísla a drsnosti potrubí pomocí Moodyho diagramu (viz obr. 3.2) nebo pomocí empirických výpočetních vztahů.



Obr. 3.2 — Moodyho diagram [28]

Moodyho diagram popisuje závislost součinitele tření na Reynoldsově čísle. Přímka (a) slouží k určení součinitele tření při laminárním proudění, křivka (b) k určení součinitele tření při konkrétní hodnotě relativní drsnosti při turbulentním proudění a křivka (c) k určení součinitele tření pro hydraulicky hladké potrubí při turbulentním proudění.

Ke ztrátě místními odpory dochází při změně směru proudu pomocí tvarových kusů, nejčastěji to jsou kolena, oblouky, odbočky atd. Tlakovou ztrátu místními odpory vypočteme dle vztahu (3.9).

$$\Delta p_m = \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (3.9)$$

Kde:

ξ [-] ztrátový součinitel.

Hodnota ztrátového součinitele ξ závisí zejména na tvaru odporové části v menší míře pak na hodnotě Reynoldsova čísla. Nejpřesněji se hodnota ξ určuje experimentálně. Pro výpočet konkrétních ztrátových součinitelů může být použit výpočtový server qpro.cz. Na obrázku 3.3 můžeme vidět ukázkou výpočtu pro hladký oblouk.

Nastavení typu tvarovky: ?	Oblouk kruhový hladký ▾	
Rozměr A (D): ?	100	mm ▾
Rozměr B: ?	0	mm ▾
Poloměr R (r): ?	100	mm ▾
Úhel: ?	90	[°stupně]
Hustota vzduchu: ?	1.2	kg/m ³ ▾
Rychlost proudění: ?	1.77	m/s ▾
Průtok: ?	50	m ³ /h ▾
Součinitel místního odporu: ?	0.214	(-)
	VYPOČÍTAT	VYMAZAT
Tlaková ztráta - výsledek: ?	0.401	Pa ▾

Obr. 3.3 — Ukázkový výpočet ze serveru qpro.cz [29]

Pomocí výše uvedených vztahů byly vypočítány tlakové ztráty pro navrženou trasu vzduchovodů. Výpočet tlakových ztrát byl proveden pro všechny větve. Tlakové ztráty talířových ventilů byly odečteny z grafů uvedených v katalogových listech těchto výrobků, při výpočtech bylo předpokládáno, že talířové ventily jsou nastaveny v nulové poloze. Pomocí serveru qpro.cz byly pro potrubní prvky určeny ztrátové součinitele ξ , jejichž hodnota se odvíjí od vstupního a výstupního průměru potrubí, objemového průtoku danou částí a také délky tvarovky. Pro výpočet tlakových ztrát třením byla pro ocelové SPIRO potrubí dle [1] použita absolutní drsnost potrubí $\varepsilon = 0,15 \text{ mm}$.

V přívodním potrubí dosahuje nejvyšších tlakových ztrát větev vedoucí z dětského pokoje (místnost 103 v obr. 3.1). Pro jednotku Futura L mají tlakové ztráty hodnotu 92,2 Pa (viz příloha č.3.1). Pro jednotky Duplex Easy a Renovent Sky je tlaková ztráta 93,3 Pa (viz příloha č.4.1). Konce a začátky úseků jsou na výkresech označeny příslušnými čísly.

V odvodním potrubí dosahuje nejvyšších tlakových ztrát větev vedoucí z kuchyně (místnost 106 v obr. 3.1). Pro jednotku Futura L mají ztráty velikost 48 Pa (viz příloha č.3.2). Pro jednotky Duplex Easy a Renovent Sky jsou tlakové ztráty o velikosti 42 Pa (viz příloha č.4.2). Konce a začátky úseků jsou na výkresech označeny příslušnými čísly.

Ventilátory u jednotky Futura L jsou schopny přivádět nebo odvádět vzduch při celkové tlakové ztrátě až 310 Pa, u jednotky Duplex Easy je při objemovém průtoku 250 m³/h tlaková rezerva 210 Pa, pro jednotku Renovent Sky je tlaková rezerva 230 Pa. Potrubní síť tedy vyhovuje pro všechny zvolené jednotky. Regulace sítě je realizována pomocí škrticích klapek, následné doregulování může být provedeno pomocí talířových ventilů.

3.3 Montáž jednotek a vzduchovodů

Jednotky Duplex a Renovent Sky budou instalovány v podstropní variantě k jejich přichycení budou použity instalační konzole, které jsou součástí dodávky. Jednotky musí být zavěšeny tak, aby byl zajištěn odvod kondenzátu pomocí samospádu. Potrubí s kondenzátem bude vedeno spolu s odvodním potrubím a bude napojeno na kanalizační potrubí, které je umístěno v šachtě. Pro parapetní jednotku Futura L, není možné zajistit odvod kondenzátu samospádem, proto bude muset být instalováno kondenzátní čerpadlo, které zajistí dostatečný tlak pro odtok do kanalizačního potrubí.

Potrubí bude zavěšeno pomocí objímkových závěsů, které jsou připevněny ke stropu. Pro lepší těsnost vzduchovodů byly zvoleny tvarovky obsahující gumové těsnění. Potrubí bude spojeno pomocí vnitřních spojek, pro spojení dvou tvarovek budou použity spojky vnější. Pro zajištění soudržnosti potrubí budou spoje zajištěny samořeznými šrouby, které budou utěsněny pomocí hliníkové pásky.

4 Náklady

Při výběru rekuperační jednotky je důležité myslet jak na realizační náklady, tak i na náklady spojené s provozem a údržbou. Prvotní investice na realizaci je největší částkou a zahrnuje cenu na pořízení jednotky, vzduchovodů a následnou montáž.

4.1 Náklady na provoz

Roční spotřebu elektrické energie pro provoz jednotky můžeme vypočítat pomocí jmenovitého elektrického příkonu (viz rovnice 4.1), tato hodnota je uvedena v certifikátu od Passive house institute.

$$P_j = \sum_{i=0}^n P_{el.spec} \cdot \dot{V}_i \cdot \frac{\tau_{Ri}}{1000} \quad (4.1)$$

Kde:

P_j	[kWh/rok]	roční spotřeba elektrické energie,
$P_{el.spec}$	[Wh/m ³]	jmenovitý elektrický příkon,
\dot{V}_i	[m ³ /h]	objemový průtok výkonového stupně,
τ_{Ri}	[h]	provozní doba výkonového stupně.

Pro porovnání roční spotřeby na provoz je potřeba definovat objemové průtoky výkonnostních stupňů a denní počet hodin jejich využití. Navržená hodnota objemového průtoku vzduchu 250 m³/h z tabulky 2.5, bude považována jako nejvyšší hodnota a bude denně použita po dobu 4 hodin. Značnou část dne bývá byt prázdný nebo obývaný nižším počtem osob, proto bude objemový průtok po dobu 8 hodin omezen na 50 %. Zbývajících 12 hodin bude objemový průtok omezen na 75% nejvyšší hodnoty. Roční spotřebu bez přehřevu udává tab. 4.1.

Tab. 4.1 - Roční spotřeba energie bez přehřevu

Objemový průtok	Denní doba provozu	Roční doba provozu	Futura L	Duplex Easy	Renovent Sky
[m ³ /h]	[h/den]	[h/rok]	[kWh/rok]	[kWh/rok]	[kWh/rok]
125	8	2920	160,6	135,05	113,15
188	12	4380	362,3	304,67	255,26
250	4	1460	160,6	135,05	113,15
CELKEM			683,5	574,77	481,56

V zimním období je k provozním nákladům potřeba připočítat spotřebu energie na přehřev vzduchu. Jednotka Futura L, může být provozována až do venkovní teploty -19 °C, bez nutnosti použití přehřevu, proto je přehřev uvažován pouze pro jednotky Duplex Easy a Renovent Sky. Spotřebu energie na přehřev můžeme vypočítat z topného příkonu nebo z provozního proudu pomocí rovnice 4.2.

$$P_p = \frac{P_o \cdot \tau}{1000} = \frac{U \cdot I_o \cdot \tau}{1000} \quad (4.2)$$

Kde:

P_p	[kWh/rok]	roční spotřeba el. předehřevu,
P_o	[kW]	příkon předehřevu,
U	[V]	prozní napětí,
I_o	[A]	provozní proud,
τ	[h]	roční doba využití el. předehřevu.

Pro výpočet roční spotřeby el. předehřevu je nutno určit jeho roční dobu provozu. Pro město Jeseník je průměrný počet mrazových dnů 111,2 ročně za posledních 30 let, což dává 2268,8 hodin ročně. Výpočet roční spotřeby předehřevu bude vycházet právě z průměrné hodnoty 2268,8 hodin. Příkon předehřevu pro jednotku Duplex Easy je 0,7 kW, pro jednotku Renovent Sky je příkon 1 kW [30].

Celkové roční náklady na energie se vypočítají ze vztahu (4.3), kdy výsledek je dán součtem spotřebovaná energie na provoz jednotky a na provoz předehřevu, tento součet je vynásoben cenou elektrické energie, která činí 5,88 Kč/kWh.

$$N_r = (P_j + P_p) \cdot 5,88 \quad (4.3)$$

4.2 Náklady na servis

Mezi provozní náklady musíme také započítat náklady na servis jednotek a výměnu filtrových kazet. Servisní prohlídka bude probíhat jednou ročně, cena servisu je stanovena pro všechny jednotky na 1000 Kč. Pro vybrané jednotky se doporučuje různá doba výměny filtrů, která je většinou zapsána v rozmezí např. u jednotky Duplex Easy je to každé 2 až 3 měsíce. Pro porovnání byla u všech jednotek vybraná horní hranice doporučené výměny. Celkové roční náklady na servis popisuje tabulka 4.2.

Tab. 4.2 - Náklady na servis

		Futura L	Duplex Easy	Renovent Sky
Cena filtrů (2ks)	[Kč]	840	86	980
Počet výměn za rok	[-]	2	4	2
Cena filtrů za rok	[Kč]	1680	344	1960
Náklady na servis	[Kč]	1200	1200	1200
Celkové náklady	[Kč]	2880	1544	4160

4.3 Pořizovací náklady

Pořizovací náklady jsou počáteční a největší investicí. Zahrnují cenu rekuperační jednotky, pořízení a montáž vzduchovodů. Pro jednotky Duplex Easy a Renovent Sky zahrnují také cenu elektrického přehřevu. Cena montáže byla určena stejná pro všechny jednotky na 25 000 Kč.

Pro podstropní jednotky Duplex Easy a Renovent Sky činí cena vzduchovodů 39 542 Kč, detailní ceník je uveden v příloze č.6. Parapetní jednotka Futura má jiný průměr připojovacích hrdel a také připojení vzduchovodů k jednotce je vzhledem k jejímu provedení odlišné, cena vzduchovodů je 37 016 Kč (viz příloha č.7).

4.4 Celkové náklady

Celkové pořizovací náklady pro vybrané jednotky jsou shrnuty v tabulce 4.3. Celkové provozní náklady, které zahrnují náklady na provoz, servis a přehřev jsou uvedeny v tabulce 4.4

Tab. 4.3 – Celkové pořizovací náklady

		Futura L	Duplex Easy	Renovent Sky
Cena jednotky	[Kč]	91 000	38 900	60 780
Cena přehřevu	[Kč]	-	6 250	6 850
Cena vzduchovodů	[Kč]	37 016	39 542	39 542
Náklady na montáž	[Kč]	25 000	25 000	25 000
CELKEM	[Kč]	153 016	109 692	132 172

Tab. 4.4 – Celkové provozní náklady

		Futura L	Duplex Easy	Renovent Sky
Náklady na údržbu	[Kč/rok]	2 880	1 544	4 160
Náklady na provoz	[Kč/rok]	4 019	3 380	2 832
Náklady na přehřev	[Kč/rok]	-	9 338	13 340
CELKEM	[Kč/rok]	6 899	14 262	20 332

ZÁVĚR

V úvodní kapitole se tato bakalářská práce zabývá rešerší větracích jednotek s rekuperací a popisuje jejich jednotlivé části. V druhé části jsou vybrány tři rekuperační jednotky, které odpovídají navrženému množství větracího vzduchu pro zvolený byt v Jeseníku. Pro vybrané jednotky byl proveden detailní rozbor jejich funkce. Ve třetí kapitole byla navržena trasa vzduchovodů, pro kterou byly vypočítány rychlosti proudění a byl proveden kontrolní výpočet tlakových ztrát. V poslední kapitole byly porovnány pořizovací a provozní náklady pro tři vybrané rekuperační jednotky.

Navržená trasa vzduchovodů pro zvolený byt byla kreslena pomocí programu CADKON+. Potrubní trasa je převážně tvořena SPIRO potrubím, z důvodu malého pracovního prostoru v místnosti umístění jednotky je doplněna flexibilním potrubím z hliníkové fólie. Potrubní síť byla pro všechny provedení podrobena kontrolnímu výpočtu tlakových ztrát. Pro variantu s jednotkou Futura L byla vypočítána maximální tlaková ztráta přívodního potrubí 92,2 Pa, tlaková ztráta odvodního potrubí má hodnotu 48 Pa. Z kontrolního výpočtu vyplývá, že rekuperační jednotka Futura L vyhovuje navržené trase vzduchovodů, jelikož její ventilátory jsou schopné dopravovat vzduch s tlakovou ztrátou až 310 Pa. Pro podstropní variantu rekuperačních jednotek Duplex Easy 300 a Renovent Sky 300 byla napočítána maximální tlaková ztráta přívodního potrubí 93,2 Pa, pro odvodní potrubí je hodnota tlakové ztráty 42 Pa. Jednotka Duplex Easy 300 je schopna pracovat při tlakové ztrátě až 210 Pa, pro jednotku Renovent Sky 300 je tato hodnota o trochu vyšší, a to 230 Pa. Z kontrolního výpočtu tedy vyplývá, že obě podstropní jednotky vyhovují navržené trase vzduchovodů.

Pro více vypovídající porovnání realizačních nákladů byla stanovena jednotná cena montáže. Nejlevnější variantou je použití jednotky Atrea Duplex Easy, pro kterou mají realizační náklady hodnotu 109 692 Kč, naopak nejdražší je varianta s jednotkou Jablotron Futura L s pořizovacími náklady 153 016 Kč. Pořizovací náklady pro jednotku Brink Renovent Sky 300 činí 132 172 Kč. Jednotka Duplex Easy oproti ostatním jednotkám vyžaduje častější výměnu filtrů, cena filtrů je však při porovnání s filtry pro ostatní jednotky velice nízká. Nevýhodou může být nutnost použití přehřevu v zimních měsících, který značně navyšuje provozní náklady. Největší pořizovací náklady pro jednotku Futura L, jsou kompenzovány možností provozu jednotky bez přehřevu až do teploty $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$, provozní náklady pro jednotku Futura L proto činí pouhých 6 899 Kč/rok. Pro jednotku Duplex Easy jsou provozní náklady 14 262 Kč/rok, největší provozní náklady jsou pak pro Renovent Sky 20 332 Kč/rok, díky ještě vyššímu příkonu přehřevu a dražším filtrům než u jednotky Duplex.

Při výběru rekuperačních jednotek však nezáleží pouze na provozních a realizačních nákladech, ale i na dalších aspektech jako jsou dopad na životní prostředí, hlučnost jednotek, konstrukčního provedení nebo referenci o výrobci.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] CHYSKÝ, Jaroslav a Karel HEMZAL. *Větrání a klimatizace*. 3., zcela přeprac. vyd. Brno: BOLIT-B Press, 1993. ISBN 80-901574-0-8.
- [2] SZÉKYOVÁ, Marta, Karol FERSTL a Richard NOVÝ. *Větrání a klimatizace*. Bratislava: Jaga, 2006. ISBN 80-8076-037-3.
- [3] JANOTKOVÁ, Eva. *Technika prostředí*. Brno: VUT, 1991, 201 s. ISBN 80-214-0258-X.
- [4] RUBINOVÁ, Olga. *A10-Navrhování vnitřního prostředí budov dle principů trvale udržitelné výstavby-větrání a klimatizace*. 1. vyd. Brno: Národní stavební centrum, 2012. ISBN 978-80-87665-09-1.
- [5] ZMRHAL, Vladimír. Prvky větracích a klimatizačních zařízení (I) – 1. část. *TZB-info* [online]. Praha: Fakulta strojní ČVUT, 2006 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/3733-prvky-vetracich-a-klimatizacnich-zarizeni-i-1-cast>
- [6] DRKAL, František, Miloš LAIN, Jan SCHWARZER a Vladimír ZMRHAL. *Vzduchotechnika* [online]. Praha, 2009 [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <http://svjvybiralova.cz/images/dokumenty/vzt/Vzduchotechnika.pdf>. Skripta. České vysoké učení technické; Fakulta strojní; Ústav techniky a prostředí.
- [7] ČÍŽEK, Miroslav a Vladimír STRAPÁČ. *AZ KLIMA s.r.o. - výrobce klimajednotek*. *TZB - info* [online]. Praha: Topinfo, 2001, 30.10.2001 [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/714-az-klima-s-r-o-vyrobce-klimajednotek>
- [8] *Co je to rekuperace?* [online]. Jablonec nad Nisou [cit. 2022-02-8]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/co-je-to-rekuperace>
- [9] GONZALEZ, Carlos. *What's the Difference between AC, DC, and EC Motors?* [online]. 2017 [cit. 2022-02-23] Dostupné z: <https://www.machinedesign.com/motion-control/what-s-difference-between-ac-dc-and-ec-motors>
- [10] POSTUPA, Martin. *Moderní rotační výměníky tepla*. *TZB-info* [online]. KASTT, spol. s.r.o., 2017 [cit.2022-03-07]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/15795-moderni-rotacni-vyemeniky-tepla>
- [11] ZIKÁN, Zdeněk. *Zpětné získávání tepla a větrání objektů*. *TZB-info* [online]. Atrea, 2010 [cit.2022-02-29]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/6325-zpetne-ziskavani-tepla-a-vetrani-objektu>
- [12] LAIN, Miloš. *Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci (I)*. *TZB - info* [online]. Praha: Topinfo, 2001, 6.11. 2006 [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/3648-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-i>
- [13] Elektrodesign: *Ventilátory, rekuperace, tepelná čerpadla, ventilace, příslušenství* [online]. Praha: ELEKTRODESIGN ventilátory, b.r. [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/>
- [14] DOČKAL, Jan. *Hluk: Jak hlučné je hlučné?* *VENTILÁTORY.cz* [online]. 3IT, 2011, 20.6.2018 [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <https://www.ventilatory.cz/hluk-jak-hlucne-je-hlucne-x31229>
- [15] *Understanding Heat Exchangers*. THOMAS [online]. New York: Thomas Publishing Company, 2021 [cit.2022-02-08]. Dostupné z: <https://www.thomasnet.com/articles/process-equipment/understanding-heat-exchangers/>

- [16] *Ventilatory.net* [online]. Proboštov: VSM Teplice-Stanislav Med, 2016 [cit. 2022-02-11]. Dostupné z: <https://www.ventilatory.net/>
- [17] ZMRHAL, Vladimír. *Prvky větracích a klimatizačních zařízení (I) - 2. část*. TZB-info [online]. Praha: ČVUT, 2006 [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/3769-prvky-ventracich-a-klimatizacnich-zarizeni-i-2-cast>
- [18] *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.2022-02-18]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/10635-rizene-ventrani-s-rekuperaci-tepla-pro-rodinne-domy-a-byty-ii>
- [19] GEBAUER Günter, Olga RUBINOVÁ a Helena HORKÁ. *Vzduchotechnika*. 2.vyd. Brno: ERA group, spol., 2007. ISBN 978-80-7366-091-8.
- [20] VYBÍRAL, Pavel. *Filtrace ve VZT jednotkách*. TZB-info [online]. Praha: Fakulta strojní ČVUT, 2016 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu/14359-filtrace-ve-vzt-jednotkach-pro-nucene-ventrani-rodinnych-domu-ii>
- [21] Vyhláška č. 6/2003 Sb.: *Vyhláška, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb*. Praha: Ministerstvo zdravotnictví, 2003.
- [22] Vyhláška č. 268/2009 Sb.: *Vyhláška o technických požadavcích na stavby*. 3.vyd. Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj, 2017.
- [23] Passive House Institute [online]. Passive House Institute, 2015 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: https://passivehouse.com/01_passivehouseinstitute/01_passivehouseinstitute.htm
- [24] ČSN EN 15665/Z1: 2011. *Požadavky na větrání obytných budov*. Praha: Český normalizační institut, 2011
- [25] Rekuperace Jablotron. *Rekuperační jednotka Futura* [online]. Jablotron living technology CZ s.r.o., b.r. [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.jablotronlt.com/futura/>
- [26] Atrea. *Duplex Easy* [online]. Atrea s.r.o. 2019 [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/duplex-easy>
- [27] ŠTORC TZB: *Podstropní rekuperace-Renovent Sky 300* [online]. Benešov, 2015 [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://www.storc.cz/produkty/vetrani/podstropni-rekuperace/renovent-sky-300/>
- [28] ŠKORPÍK, Jiří. *Vznik tlakové ztráty při proudění tekutiny. Transformační technologie* [online]. 2010 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/38.html#menu>
- [29] VOPÁLKA, Karel. *Výpočet místních odporů*. Technika prostředí [online]. Chlumeck nad Cidlinou, b.r. [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <http://www.qpro.cz/Tlakova-ztrata-mistnimi-odpory-Strana-2>
- [30] *Historické údaje o klimatu a počasí pro Jeseník* [online]. Meteoblue, 2015 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/historyclimate/climatemodelled/jesen%c3%adk_%c4%8cesko_3072267

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
Δp	Přetlak	Pa
\dot{V}	Objemový průtok	m^3/s
C	Konstanta potrubní sítě	kg/m^7
Ψ	Tlakové číslo	
φ	Průtokové číslo	
λ	Výkonové číslo	
u_2	Obvodová rychlost	m/s
d_2	Průměr oběžného kola	m
ρ	Hustota	kg/m^3
η_c	Účinnost ventilátoru	
AC	Asynchronní motor	
EC	Elektricky komutovaný stejnosměrný motor	
DC	Stejnoseměrný motor	
ZZT	Zpětné získávání tepla	
η	Účinnost výměníku	
t_{E1}	Teplota přiváděného vzduchu před výměníkem	$^{\circ}C$
t_{E2}	Teplota přiváděného vzduchu za výměníkem	$^{\circ}C$
t_{I1}	Teplota odváděného vzduchu před výměníkem	$^{\circ}C$
Ψ	Vlhkostní faktor	
x_{E1}	Měrná vlhkost přiváděného vzduchu před výměníkem	$g/kg_{s.v.}$
x_{E2}	Měrná vlhkost přiváděného vzduchu za výměníkem	$g/kg_{s.v.}$
x_{I1}	Měrná vlhkost odváděného vzduchu před výměníkem	$g/kg_{s.v.}$
CO_2	Oxid uhličitý	
\dot{V}_{max}	Maximální objemový průtok vzduchu	m^3/h
$P_{el.spec}$	Jmenovitý elektrický příkon	Wh/m^3
L_{WA}	Hladina akustického výkonu	$dB(A)$
D	Průměr kruhového potrubí	m
w	Navržená rychlost proudění	m/s
w_s	Skutečná rychlost proudění	m/s
D_{NORM}	Normovaný průměr potrubí	m
Δp_c	Celková tlaková ztráta	Pa
Δp_m	Místní tlaková ztráta	Pa
Δp_t	Tlaková ztráta třením	Pa
λ	Součinitel tření	

L	Délka potrubí	m
ε	Absolutní drsnost potrubí	m
ε/D	Relativní drsnost potrubí	
Re	Reynoldsovo číslo	
ν	Kinematická viskozita vzduchu	m^2/s
η	Dynamická viskozita	$Pa \cdot s$
ξ	Ztrátový součinitel	
\dot{V}_l	Objemový průtok výkonnostního stupně	m^3/h
τ_{Ri}	Provozní doba výkonnostního stupně	h
P_j	Roční spotřeba elektrické energie	kWh/rok
P_p	Roční spotřeba elektrického předehřevu	kWh/rok
P_o	Příkon předehřevu	kW
U	Provozní napětí	V
I_o	Provozní proud	A
τ	Roční doba využití elektrického předehřevu	h
N_r	Celkové roční provozní náklady	Kč

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1.1 — Schéma větrací jednotky s rekuperací [7]
- Obr. 1.2 — Radiální ventilátor [5]
- Obr. 1.3 — Charakteristika ventilátoru a potrubní sítě [17]
- Obr. 1.4 — Schéma zpětného získávání tepla [12]
- Obr. 1.5 — Směry toku tekutin [15]
- Obr. 1.6 — Deskový protiproudý výměník [12]
- Obr. 1.7 — Rotační regenerační výměník [10]
- Obr. 1.8 — Sorpční filtr s aktivním uhlím [20]
- Obr. 1.9 — Elektrický ohřívač pro kruhové potrubí [13]
- Obr. 1.10 — Princip bypass klapky [18]
- Obr. 1.11 — SPIRO potrubí [16]
- Obr. 1.12 — ALUFLEX HYGIENIC [16]
- Obr. 1.13 — Flexibilní potrubí ED FLEX Hygienic [16]
- Obr. 1.14 — Tlumič hluku pro kruhové potrubí [13]
- Obr. 1.15 — Kovový odvodní talířový ventil [13]
- Obr. 1.16 — Vířivý anemostat [13]
- Obr. 2.1 — Půdorys bytu
- Obr. 2.2 — Jablotron Futura [25]
- Obr. 2.3 — Atrea Duplex Easy [26]
- Obr. 2.4 — Brink Renovent Sky 300 [27]
- Obr. 3.1 — Schéma potrubní sítě pro jednotku Futura L
- Obr. 3.2 — Moodyho diagram [28]
- Obr. 3.3 — Ukázkový výpočet ze serveru qpro.cz [29]

SEZNAM TABULEK

- Tab. 2.1 — Parametry místností
- Tab. 2.2 — Požadavky na větrání obytných prostor dle ČSN EN 15665/Z1 [24]
- Tab. 2.3 — Průtoky vzduchu dle minimální intenzity větrání
- Tab. 2.4 — Průtoky vzduchu dle doporučeného množství vzduchu
- Tab. 2.5 — Předběžný návrh množství větracího vzduchu
- Tab. 2.6 — Technické parametry vybraných jednotek
- Tab. 3.1 — Doporučené rychlost (m/s) ve vzduchovodech [1]
- Tab. 4.1 — Roční spotřeba energie bez předehřevu
- Tab. 4.2 — Náklady na servis
- Tab. 4.3 — Celkové pořizovací náklady
- Tab. 4.4 — Celkové provozní náklady

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č.1 — Ceník potrubního vedení (Futura L)
- Příloha č.2 — Ceník potrubního vedení (Duplex Easy, Renovent Sky)
- Příloha č.3.1 — Přívodní větev s největší tlakovou ztrátou (Futura L)
- Příloha č.3.2 — Odvodní větev s největší tlakovou ztrátou (Futura L)
- Příloha č.4.1 — Přívodní větev s největší tlakovou ztrátou (Duplex Easy, Renovent Sky)
- Příloha č.4.2 — Odvodní větev s největší tlakovou ztrátou (Duplex Easy, Renovent Sky)
- Příloha č.5 — Výkres potrubní sítě pro jednotu Futura L
- Příloha č.6 — Výkres potrubní sítě pro jednotu Renovent Sky 300
- Příloha č.7 — Výkres potrubní sítě pro jednotu Duplex Easy 300

Příloha č. 1 - Ceník potrubního vedení (Futura L)

Pozice	Kruhové potrubí [13],[16].				
	Specifikace	Typ	Cena s DPH	Počet kusů	Cena celkem
	[-]	[-]	[Kč/ks]	[ks]	[Kč]
P.1	Oblouk 90°	BU 150 90°	299	9	2691
P.2	Oblouk 90°	BU 125.90°	207	2	414
P.3	Oblouk 90°	BU 100.90°	182	5	910
P.4	Oblouk 45°	BU 125.45°	178	3	534
P.5	Oblouk 45°	BU 100.45°	131	2	262
P.6	Odbočka	TVU 45° 150/125	788	3	2364
P.7	Odbočka	TVU 45° 150/100	764	2	1528
P.8	Osový přechod	RCU 150/100	114	1	114
P.9	Protidešťová žaluzie	TWG 250	1848	1	1848
P.10	Přechod na kruhové potrubí	TWG – PRO 250/150	1821	1	1821
P.11	Tlumič hluku	MTS 150	1841	1	1841
P.12	Tlumič hluku	MAA 125/600	2044	1	2044
P.13	Tlumič hluku	MAA 100/600	1854	1	1854
P.14	Škrtící klapka	MSK 150	843	2	1686
P.15	Škrtící klapka	MSK 125	824	2	1648
P.16	Škrtící klapka	MSK 100	800	1	800
P.17	Talířový ventil	IT-PRO 125	163	4	625
P.18	Talířový ventil	IT-PRO 100	145	3	435
P.19	Flexibilní potrubí – 1metr	SONOFLEX MI 152	283	2	566
	SPIRO potrubí – 1metr	SR 150	490	15	7350
	SPIRO potrubí – 1metr	SR 125	327	4	1308
	SPIRO potrubí – 1metr	SR 100	266	8	2128
	Izolace potrubí	TERMOSLEEV 152 T	222	8	1776
	Hliníková páska	303 ALU 50 mm	185	4	740
	Objímka s gumou	150 mm/M8	54	5	270
	Závitová tyč	M8/ 1 metr	32	5	160
	Vnitřní spojka	MPU 150	116	4	464
	Vnější spojka	MF 125	58	5	290
	Samořezné šrouby – balení 1000ks	4,2mm/16 mm	386	1	386
CELKEM					37 016

Příloha č. 2 - Ceník potrubního vedení (Duplex Easy, Renovent Sky)

Pozice	Kruhové potrubí [13],[16].				
	Specifikace	Typ	Cena s DPH	Počet kusů	Cena celkem s DPH
	[-]	[-]	[Kč/ks]	[ks]	[Kč]
D.1	Oblouk 90°	BU 160 90°	288	6	1728
D.2	Oblouk 90°	BU 125.90°	207	2	414
D.3	Oblouk 90°	BU 100.90°	182	5	910
D.4	Oblouk 45°	BU 150.45°	233	1	233
D.5	Oblouk 45°	BU 125.45°	178	3	534
D.6	Oblouk 45°	BU 100.45°	131	2	262
D.7	Kalhotový kus	YVU 45° 160/150 150	1162	1	1162
D.8	Odbočka	TVU 45° 150/125	788	2	1576
D.9	Odbočka	TVU 45° 150/100	764	2	1528
D.10	Osový přechod	RCU 150/100	114	2	228
D.11	Protidešťová žaluzie	TWG 250	1848	1	1848
D.12	Přechod na kruhové potrubí	TWG – PRO 250/160	1821	1	1821
D.13	Tlumič hluku	MTS 160	2040	1	2040
D.14	Tlumič hluku	MAA 125/600	2044	1	2044
D.15	Tlumič hluku	MAA 100/600	1854	1	1854
D.16	Škrtící klapka	MSK 150	843	2	1686
D.17	Škrtící klapka	MSK 125	824	2	1648
D.18	Škrtící klapka	MSK 100	800	2	1600
D.19	Talířový ventil	IT-PRO 125	163	4	625
D.20	Talířový ventil	IT-PRO 100	145	3	435
D.21	Flexibilní potrubí – 1metr	SONOFLEX MI 160	300	3	900
	SPIRO potrubí – 1metr	SR 160	413	9	3 717
	SPIRO potrubí – 1metr	SR 150	490	6	2 940
	SPIRO potrubí – 1metr	SR 125	327	4	1308
	SPIRO potrubí – 1metr	SR 100	266	8	2128
	Izolace potrubí	TERMOSLEEV 160 T	222	9	1998
	Hliníková páska	303 ALU 50 mm	185	4	740
	Objímka s gumou	160 mm/M8	57	5	285
	Závitová tyč	M8/ 1 metr	32	5	160
	Vnitřní spojka	MPU 160	98	4	392
	Vnější spojka	MF 150	61	2	122
	Vnější spojka	MF 125	58	5	290
	Samořezné šrouby – balení 1000ks	4,2mm/16 mm	386	1	386
CELKEM					39 542

Příloha č. 3.1 - Přívodní větev s největší tlakovou ztrátou (Futura L)

Úsek	Délka	Průměr	Průtok	Rychlost proudění	Hustota	Kinematická Viskozita	Reynoldsovo číslo	Drsnost	Relativní drsnost	Součinitel tření	Ztrátový součinitel	Tlaková ztráta elementů	Ztráta třením	Ztráta místní	Celková ztráta
[-]	[m]	[mm]	[m ³ /h]	[m/s]	[kg/m ³]	[m ² /s]	[-]	[mm]	[-]	[-]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
IN-1	4,90	150	250	3,93	1,2	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$4,137 \cdot 10^4$	0,15	0,0010	0,024	0,041	21,00	7,264	0,378	28,64
1-2	1,43	150	250	3,93	1,2	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$4,137 \cdot 10^4$	0,15	0,0010	0,024	0,433	-	2,860	4,012	6,87
2-3	3,19	150	200	3,14	1,2	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$3,309 \cdot 10^4$	0,15	0,0010	0,026	0,273	-	3,277	1,620	4,90
3-4	2,41	125	150	3,39	1,2	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$2,978 \cdot 10^4$	0,15	0,0012	0,027	5,116	-	3,601	35,38	38,98
4-5	1,92	125	50	1,13	1,2	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$9,928 \cdot 10^3$	0,15	0,0012	0,031	0,670	11,96	0,366	0,515	12,84
CELKEM														92,2	

Příloha č. 3.2 – Odvodní větev s největší tlakovou ztrátou (Futura L)

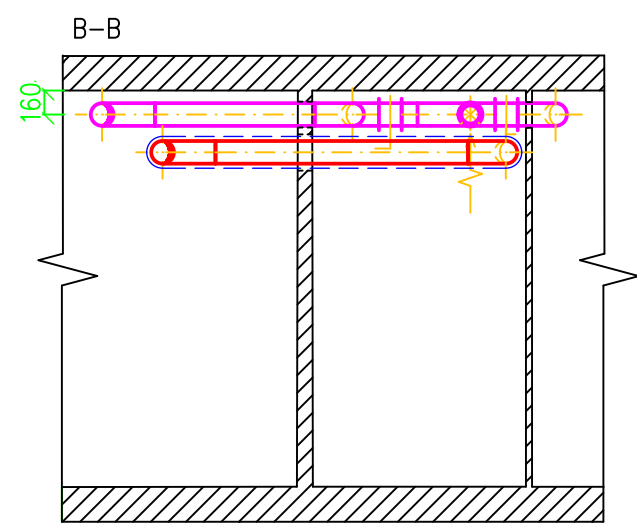
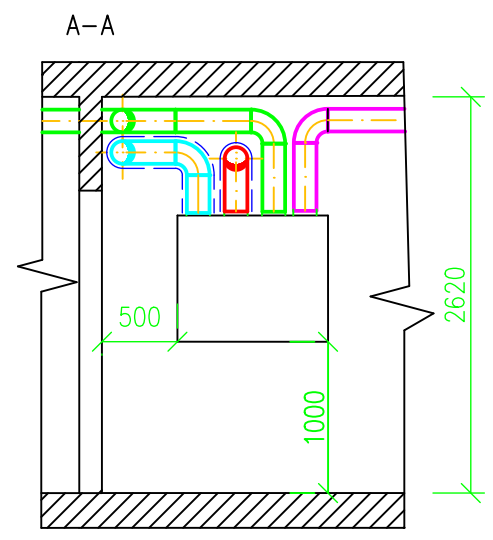
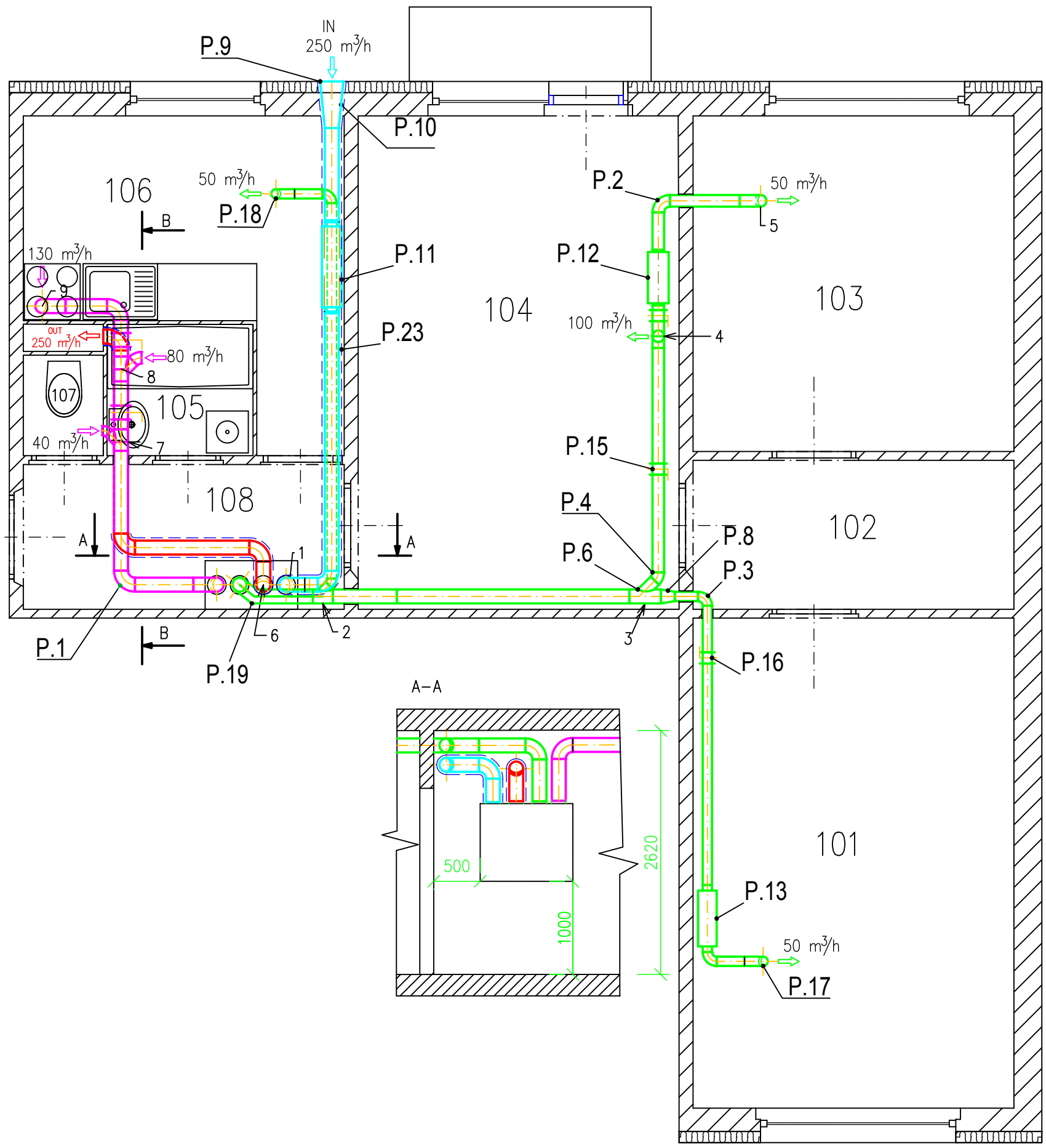
Úsek	Délka	Průměr	Průtok	Rychlost proudění	Hustota	Kinematická Viskozita	Reynoldsovo číslo	Drsnost	Relativní drsnost	Součinitel tření	Ztrátový součinitel	Tlaková ztráta elementů	Ztráta třením	Ztráta místní	Celková ztráta
[-]	[m]	[mm]	[m ³ /h]	[m/s]	[kg/m ³]	[m ² /s]	[-]	[mm]	[-]	[-]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OUT-6	3,19	150	250	3,93	1,2	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$4,12 \cdot 10^4$	0,15	0,001	0,024	0,824	-	4,729	7,635	12,36
6-7	2,37	150	250	3,93	1,2	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$4,12 \cdot 10^4$	0,15	0,001	0,024	0,45	-	3,514	4,170	7,68
7-8	0,52	150	210	3,30	1,2	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$3,46 \cdot 10^4$	0,15	0,001	0,026	0,37	-	0,589	2,419	3,01
8-9	1,08	125	130	2,94	1,2	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$2,57 \cdot 10^4$	0,15	0,0012	0,028	0,662	20	1,257	3,439	24,69
CELKEM														47,7	

Příloha č. 4.1 - Přívodní větev s největší tlakovou ztrátou (Duplex Easy a Renovent Sky)

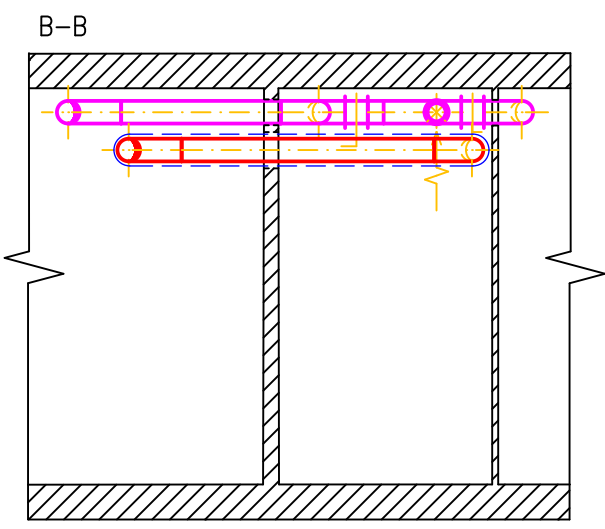
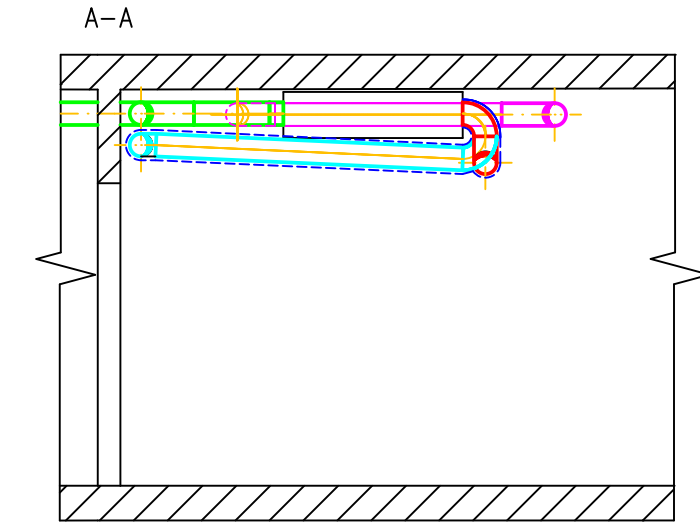
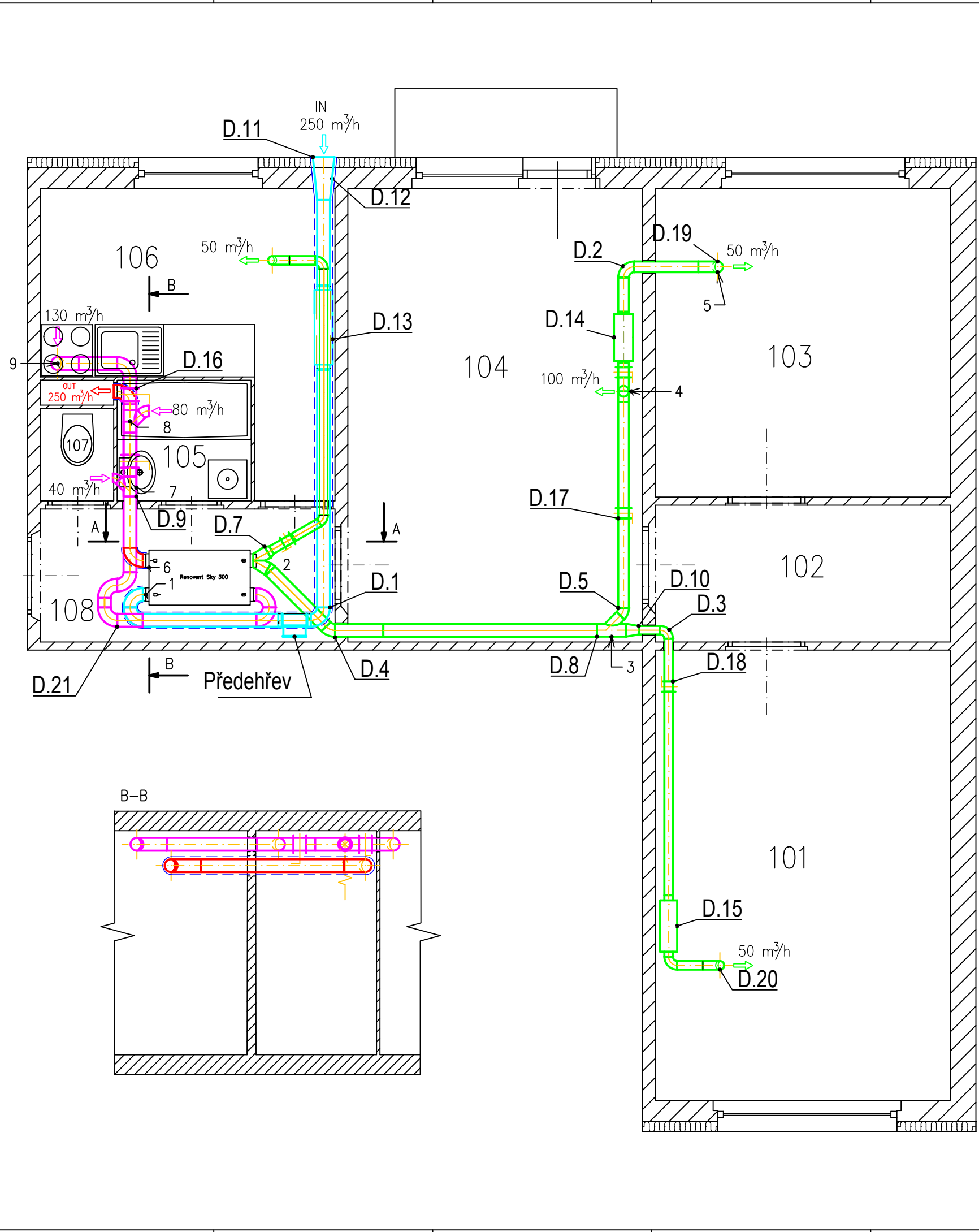
Úsek	Délka	Průměr	Průtok	Rychlost proudění	Hustota	Kinematická Viskozita	Reynoldsovo číslo	Drsnost	Relativní drsnost	Součinitel tření	Ztrátový součinitel	Tlaková ztráta elementů	Ztráta třením	Ztráta místní	Celková ztráta
[-]	[m]	[mm]	[m ³ /h]	[m/s]	[kg/m ³]	[m ² /s]	[-]	[mm]	[-]	[-]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
IN-1	6,7	160	250	3,45	1,2	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$3,878 \cdot 10^4$	0,15	0,0009	0,024	0,6525	21,94	7,193	4,67	33,80
1-2	0,15	160	250	3,45	1,2	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$3,878 \cdot 10^4$	0,15	0,0009	0,024	0,286	-	0,161	2,047	2,20
2-3	3,99	150	200	3,14	1,2	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$3,309 \cdot 10^4$	0,15	0,0010	0,026	0,222	-	4,101	1,316	5,42
3-4	2,41	125	150	3,39	1,2	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$2,978 \cdot 10^4$	0,15	0,0012	0,027	5,116	-	3,601	35,38	38,98
4-5	1,92	125	50	1,13	1,2	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$9,928 \cdot 10^3$	0,15	0,0012	0,031	0,670	11,96	0,366	0,515	12,84
CELKEM														93,3	

Příloha č. 4.2 – Odvodní větev s největší tlakovou ztrátou (Duplex Easy a Renovent Sky)

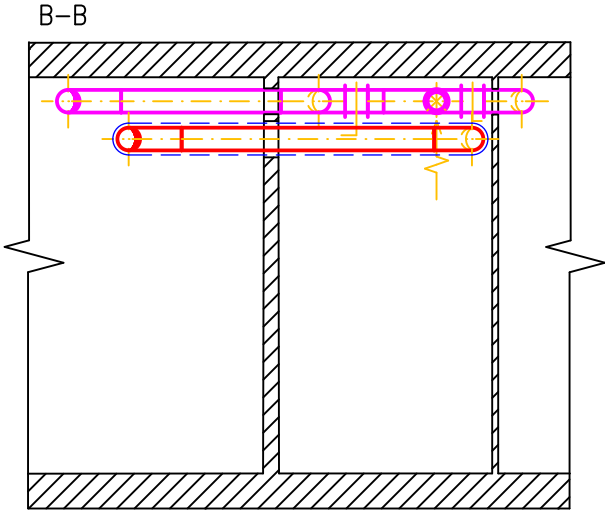
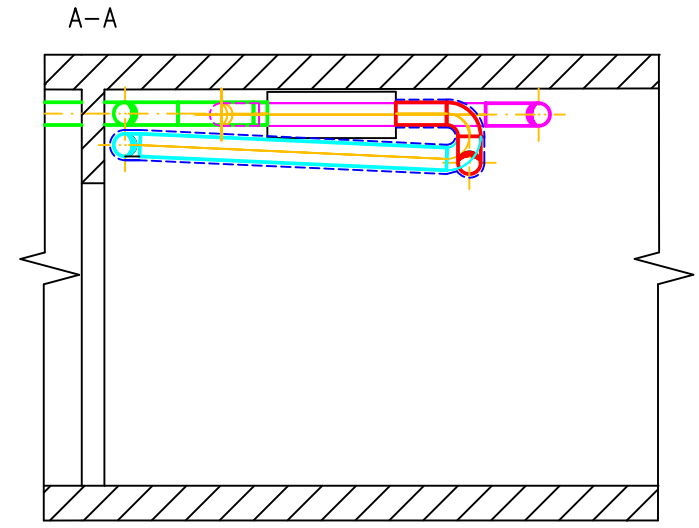
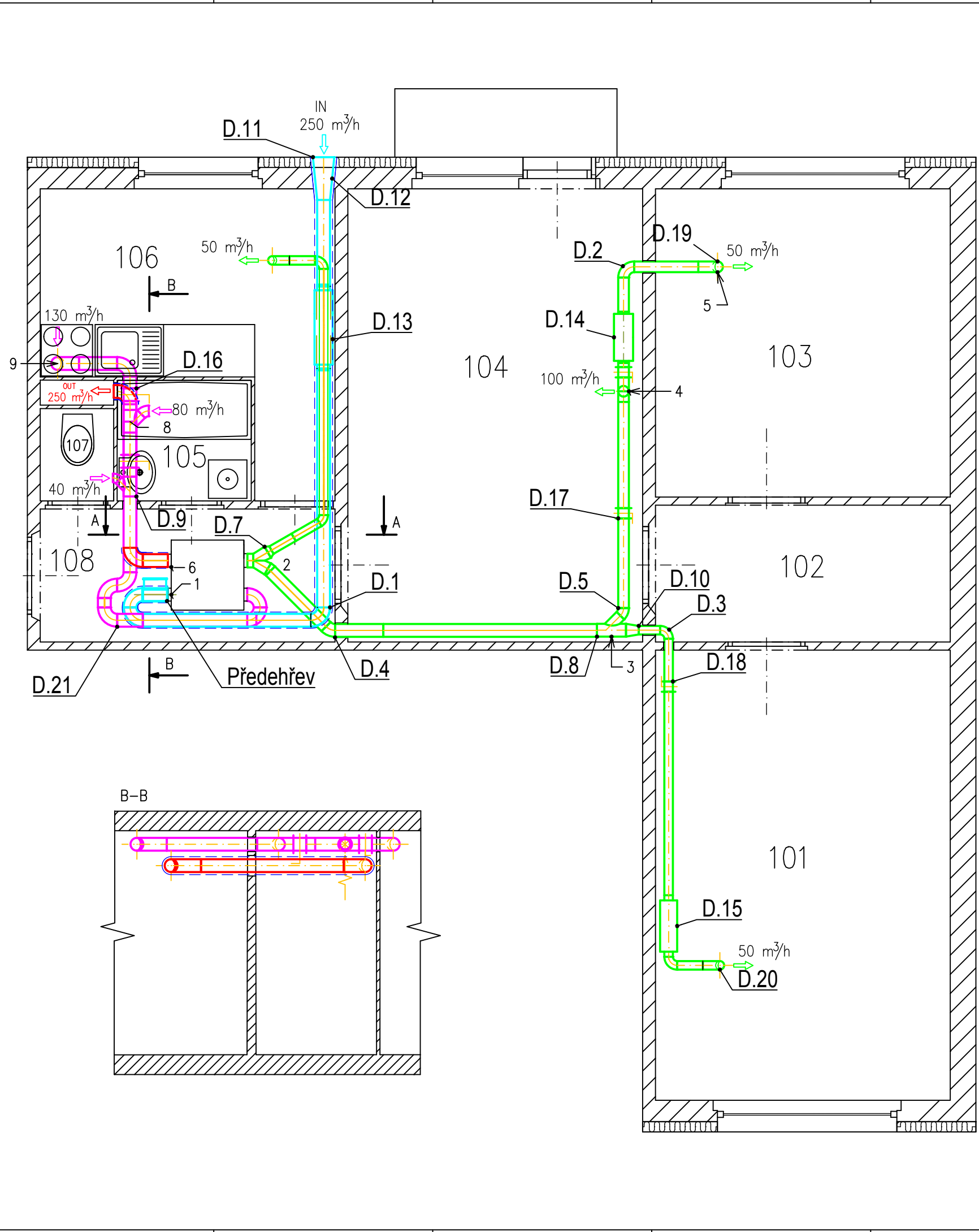
Úsek	Délka	Průměr	Průtok	Rychlost proudění	Hustota	Kinematická Viskozita	Reynoldsovo číslo	Drsnost	Relativní drsnost	Součinitel tření	Ztrátový součinitel	Tlaková ztráta elementů	Ztráta třením	Ztráta místní	Celková ztráta
[-]	[m]	[mm]	[m ³ /h]	[m/s]	[kg/m ³]	[m ² /s]	[-]	[mm]	[-]	[-]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OUT-6	1,72	160	250	3,45	1,2	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$3,86 \cdot 10^4$	0,15	0,0009	0,024	0,824	-	1,847	5,898	7,75
6-7	2,51	160	250	3,45	1,2	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$3,86 \cdot 10^4$	0,15	0,0009	0,024	0,62	-	2,695	4,438	7,13
7-8	0,52	160	210	2,90	1,2	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$3,25 \cdot 10^4$	0,15	0,0009	0,026	0,35	-	0,427	1,768	2,19
8-9	1,08	125	130	2,94	1,2	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$2,57 \cdot 10^4$	0,15	0,0012	0,028	0,64	20	1,257	3,325	24,58
CELKEM														41,7	



VED.PROJEKTANT	ZOD.PROJEKTANT	VYPRACOVAL	KONTROLA	VUT FSI BRNO	
	Břenek	Václav Břenek			
INVESTOR				FORMÁT	A3
Návrh větrání obytných prostor				DATUM	20.5.2022
				STUPEŇ	
				Č.ZAKÁZKY	
				SPECIALIZACE	
Vzduchovody – Futura L				Č.ARCHIVNÍ	
				MĚŘÍTKO	1:50



VED.PROJEKTANT	ZOD.PROJEKTANT	VYPRACOVAL	KONTROLA	VUT FSI BRNO	
	Břenek	Václav Břenek			
INVESTOR				FORMÁT	A3
Návrh větrání obytných prostor				DATUM	20.5.2022
				STUPEŇ	
				Č.ZAKÁZKY	
				SPECIALIZACE	
Vzduchovody – Renovent Sky 300				Č.ARCHIVNÍ	
				MĚŘÍTKO	1:50



VED.PROJEKTANT	ZOD.PROJEKTANT	VYPRACOVAL	KONTROLA	VUT FSI BRNO	
	Břenek	Václav Břenek			
INVESTOR			FORMÁT	A3	
Návrh větrání obytných prostor			DATUM	20.5.2022	
			STUPEŇ		
			Č.ZAKÁZKY		
			SPECIALIZACE		
Vzduchovody – Duplex Easy 300			Č.ARCHIVNÍ		
			MĚŘÍTKO	1:50	Č.VÝKRESU