

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



VĚTRÁNÍ S REKUPERACÍ BYTOVÉHO DOMU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracovala:

Botagoz Assylkhanova

Vedoucí bakalářské práce :

Ing. Ilona Koubková, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze dne 25.05.2018

podpis

Poděkování

Chtěla bych poděkovat své vedoucí bakalářské práce Ing. Iloně Koubkové, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce. Dále bych chtěla poděkovat své kamarádce, která poskytla stavební a architektonickou dokumentaci svého školního projektu bytového domu.

OBSAH

ANOTACE	6
1. ÚVOD	7
2. ENERGETICKY PASIVNÍ DOMY.....	8
3. VĚTRÁNÍ OBYTNÝCH BUDOV	8
3.1 POŽADAVKY NA VNITŘNÍ MIKROKLIMU OBYTNÝCH BUDOV	9
3.2 ZPŮSOBY VĚTRÁNÍ BYTOVÝCH DOMŮ	11
3.2.1 <i>Přirozené větrání</i>	11
3.2.2 <i>Nucené větrání</i>	11
4. ZPĚTNÉ ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA	15
4.1 REKUPERAČNÍ VÝMĚNÍKY	15
<i>Trubkové výměníky</i>	15
<i>Výměníky tepla s kapalinovým okruhem</i>	15
<i>Výměníky s přirozeným pohonem chladiva – tepelné trubice</i>	16
<i>Deskové výměníky</i>	16
4.2 REGENERAČNÍ VÝMĚNÍKY	17
5. NUCENÉ VĚTRÁNÍ S REKUPERACÍ V PASIVNÍCH DOMECH.....	19
5.1 PRINCIP VĚTRACÍHO ZAŘÍZENÍ	19
5.2 TEPLOVZDUŠNÉ VYTÁPĚNÍ A VĚTRÁNÍ.....	19
5.3 KONCEPCE VĚTRÁNÍ V PASIVNÍCH BYTOVÝCH DOMECH	21
5.3.1 <i>Centrální systém větrání</i>	21
5.3.2 <i>Decentrální systém větrání</i>	22
5.4 ROZVODY	23
6. MOŽNOSTI ŘEŠENÍ SYSTÉMU VĚTRÁNÍ VYBRANÉHO BYTOVÉHO DOMU	25
6.1 POPIS OBJEKTU.	25
6.2 DISTRIBUCE TEPLA V BYTOVÉM DOMĚ.....	25
6.3 VÝBĚR SYSTÉMU VĚTRÁNÍ	27
7. ZÁVĚR.....	30
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A PODKLADŮ.....	31
SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ.....	33
SEZNAM TABULEK	34
PROJEKT VĚTRÁNÍ S REKUPERACÍ BYTOVÉHO DOMU	

Anotace

Bakalářská práce se zabývá problematikou větrání bytových domů v pasivním standardu. Součástí práce je rešerše o větrání s rekuperací v pasivních bytových domech. Jsou zde popsány základní pojmy, principy pasivního domu a jednotlivé možnosti řešení větrání vybraného bytového domu.

V praktické části je proveden konkrétní návrh větrání s rekuperací školního projektu bytového domu.

Klíčová slova: bytový dům, nucené větrání, rekuperace, pasivní bytový dům, zpětné získávání tepla.

Annotation

Bachelor thesis deals with problematic of ventilation of residential buildings in passive standard. Part of the thesis is a research of ventilation with recuperation in passive apartment buildings. There are described the basic concepts, the passive house principles and the possibilities of ventilation in given apartment building.

The practical part of the thesis is a design of ventilation system with recuperation of a school project of apartment building.

Key words: apartment building, forced ventilation, recuperation, passive house, heat recovery

1. Úvod

V posledních letech je kladen velký důraz nejen na kvalitu vnitřního prostředí budovy a i na kvalitu budovy z hlediska energetické náročnosti. Rostoucí náklady na výrobu tepla nutí přemýšlet nad tím, jak šetřit na vytápění a ohřev vody, zároveň neobnovitelné energetické zdroje. S tím souvisí výstavba dnešního moderního bydlení nízkoenergetických a pasivních budov.

Energetické úspory souvisí se samostatnou stavbou, se samotnou tepelnou soustavou a také s efektivním využíváním tepelných zisků. Další související oblastí je větrání. Na dosažení energetických úspor má velký vliv správně navržený systém nuceného větrání s rekuperací tepla.

Cílem této bakalářské práce je seznámit se s principy a možnostmi návrhu větrání pro pasivní domy, výběr vhodného řešení a návrh systému větrání s rekuperací pro vybraný pasivní bytový dům.

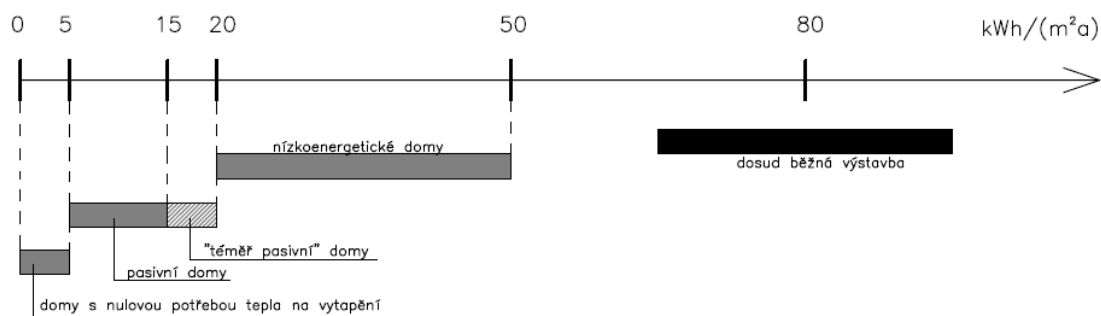
Práce se skládá ze dvou částí, teoretické a praktické. V teoretické části jsou popsány základní požadavky na větrání obytných budov, součástí je také rešerše o větrání pasivních domů, vyhodnocení jednotlivých možností řešení a výběr vhodné varianty.

V praktické části je pak proveden konkrétní návrh systému větrání pro bytový dům.

V následující kapitole bych ráda definovala pojem pasivní dům.

2. Energeticky pasivní domy.

Pasivní domy podle normy ČSN 730540-2 mají velmi nízkou spotřebu energie a základním ukazatelem je měrná roční potřeba tepla na vytápění, která nesmí překročit hodnotu 15 kWh/(m²a). Dalšími požadavky jsou celková potřeba primární energie na provoz budovy včetně domácích spotřebičů, která je maximálně 120 kWh/(m²a) a celková neprůvzdušnost obálky budovy ($n_{50} \leq 0,6h^{-1}$). V praxi se objevují budovy, které se svými vlastnostmi blíží k pasivním domům, i když některé parametry neodpovídají pasivním standardům. Tyto budovy se označují jako «téměř pasivní domy». [1]



Obr.č.1 Roční měrná potřeba tepla na vytápění podle kategorií budov [1]

Pro dosažení těchto hodnot, pasivní domy mají vysoké požadavky na tvar a vlastnosti obálky budovy. Budova v pasivním standardu není příliš členitá a pokud možno orientovaná na jih pro využití slunečních zisků, a nezastíněna okolní zástavbou. Oproti běžným zástavbám mají vyšší míru zateplení obvodového pláště, okna s izolovanými rámy a trojitým zasklením. Nedílnou součástí pasivní výstavby je nucené větrání. [2]

Tabulka č. 1 Základní charakteristiky pasivních budov podle ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky, 2011

		Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m ² ·K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² ·a)]	Měrná potřeba energie na chlazení [kWh/(m ² ·a)]	Měrná potřeba primární energie [kWh/(m ² ·a)]
Obytná budova	Rodinný dům	≤ 0,25 požadováno ≤ 0,20 doporučeno	≤ 20 požadováno ≤ 15 doporučeno	0 ²⁾	≤ 60
	Bytový dům	≤ 0,35 požadováno ≤ 0,30 doporučeno	≤ 15	0 ²⁾	≤ 60
Neobytná budova s převažující teplotou 18 °C–22 °C		≤ 0,35 ¹⁾	≤ 15	≤ 15	≤ 120
Ostatní budovy		Požadavky stanoveny individuálně s využitím aktuálních poznatků odborné literatury			≤ 120
<p>1) Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě $U_{em,rec}$ podle 5.3.2 [].</p> <p>2) Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné. Pokud by výjimečně bylo dodatečně použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče.</p>					

3. Větrání obytných budov

3.1 Požadavky na vnitřní mikroklimu obytných budov

Kvalita vnitřního prostředí v budově má vliv na spokojenost a zdraví obyvatel. Základními částmi vnitřního mikroklimu obytných budov jsou složky tepelně-vlhkostní, oděrová a akustická.

Během pobytu v obytných místnostech se neustále vytváří vodní pára a může negativně ovlivnit zdraví obyvatel. Hlavními zdroji vodní páry v obytných budovách jsou produkce páry člověka, odpařování z teplých jídel a vodních hladin. [3] [4] Hodnoty vodní páry jsou uvedeny v tabulce č.2:

Tabulka č.2 Hlavní zdroje vlhkosti v budově a jeho množství v bytě [3]

Zdroj vlhkosti	Produkce vodní páry
Metabolismus	50–250 g/hod/os (dle druhu činnosti)
Koupelny	700–2600 g/hod
Kuchyně	600–1500 g/hod
Sušení prádla	200–500 g/hod/5 kg

Vlhkost v budově nejčastěji udávána hodnotami relativní vlhkosti. Při vyšší relativní vlhkosti se zvyšuje riziko vzniku plísní, naopak při nižší relativní vlhkosti se snižuje množství roztočů v textiliích a výskyt alergií.

Oxid uhličitý je nejběžnější škodlivinou ovzduší obytných budov a zdrojem je především metabolismus člověka. Koncentrace CO₂ ve vnitřním vzduchu nesmí překročit hodnotu 1500 ppm, vyšší hodnoty pak ovlivní pocit pohody a zdraví člověka [4]. (viz tabulka č.3)

Tabulka č.3 Účinky CO₂ na lidský organismus[5]

Koncentrace [ppm]	Účinky
cca 350	úroveň venkovního prostředí
do 1000	doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorách
1200–1500	doporučená maximální úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorách
1000–2000	nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace
2000–5000	nastávají možné bolesti hlavy
5000	maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
> 5000	nevolnost a zvýšený tep
> 15000	dýchací potíže
> 40000	možná ztráta vědomí

Snížení vlhkosti vzduchu a koncentrace CO₂ ve vnitřním prostředí zajistí větrání s dostatečným přívodem venkovního vzduchu. Požadavky na větrání obytných budov jsou uvedeny v tabulce č.4.

Tabulka č.4 Požadavky na větrání obytných budov podle národní přílohy Z1 k ČSN EN 15665[3]

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

Kromě snížení vlhkosti a koncentrace CO₂ je větrání nutné pro odvod následujících škodlivin:

- Vytřídění pachů
- Škodliviny, které se uvolňují z nábytku, textilií, stavebních hmot a ostatních předmětů (viz. tabulka č. 5)
- Snížení obsahu radonu

Tabulka č.5 Zdroje a produkované škodliviny v budovách [3]

Zdroj škodlivin	Produkované škodliviny	
Člověk	Látková výměna	CO ₂ , vodní pára, pachy
	Činnost člověka	Tabákový kouř, čisticí prostředky, prachové částice, chov domácích zvířat – srst
Stavební hmoty a vybavení	Dřevotřískas	Aldehydy
	Plynový sporák	N ₂ O, CO
	Izolační hmoty	Aldehydy, azbest
	Nátěrové hmoty	Rozpouštědla, těžké kovy
	Vysoká vzdušná vlhkost	Spóry hub a plísní, roztoči

3.2 Způsoby větrání bytových domů

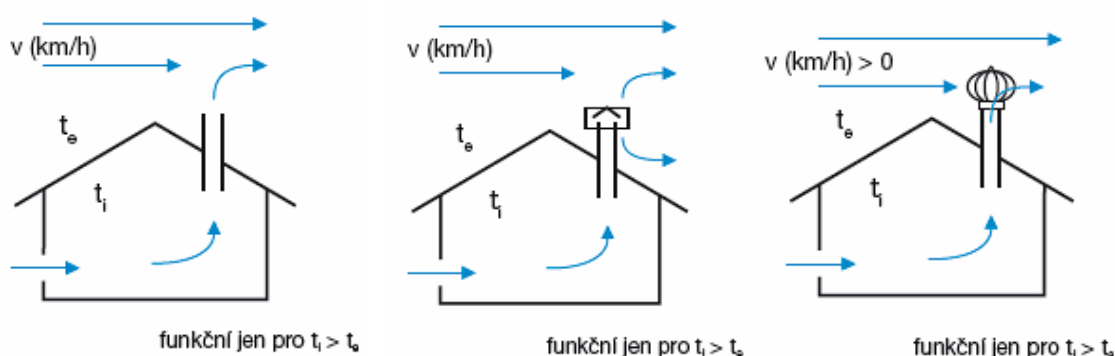
V této kapitole jsou popsány základní způsoby větrání obytných budov a jejich vhodnost či nevhodnost při návrhu pasivních budov.

3.2.1 Přirozené větrání

Přirozené větrání je druh větrání, který představuje výměnu vzduchu v místnosti vlivem přírodních sil. Přírodní síly vznikají dynamickým tlakem větru, nebo v době když vítr nefouká, vlivem rozdílu teplot uvnitř a vně budovy. [6]

V obytných budovách rozeznáváme tyto základní typy přirozeného větrání:

- Infiltrace - probíhá netěsnostmi stavebních konstrukcí
- Větrání okny - nejrozšířenější princip větrání, kde pro přívod i odvod vzduchu slouží jen okno.
- Šachtové větrání – druh větrání, kde pro přívod vzduchu slouží otvory za otopným tělesem a pro odvod vzduchu slouží centrální šachty.



Obr.č.2 Schéma větrání: šachtové; šachtové s větracími hlavicemi; šachtové s rotačními hlavicemi [7]

Tento druh větrání je vhodný tím, že je nejehospodárnější a nepotřebuje údržbu, ale v dnešní době přirozené větrání je nedostatečné, neodpovídají hygienickým požadavkům na větrání a závislé na klimatických podmínkách. Při instalaci nových těsných oken, tento způsob větrání je nefunkční a navíc v zimním období dochází k velkým tepelným ztrátám, což z hlediska energetické náročnosti je nevhodné při návrhu nízkoenergetických a pasivních budov. [7]

3.2.2 Nucené větrání

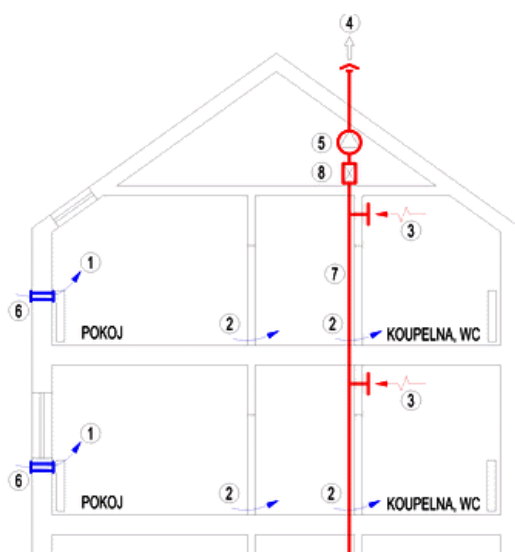
Nucené větrání je druh větrání, který zajistí mechanickou výměnu vzduchu a základním prvkem je ventilátor. Oproti přirozenému větrání je nezávislé na klimatických podmínkách, umožňuje řízenou výměnu vzduchu v prostoru a úpravu

přívodního vzduchu dle požadavků. Pro větrání bytových domů rozlišujeme tyto základní systémy nuceného větrání:

- Centrální podtlakový systém
- Decentrální podtlakový systém
- Rovnotlaké systémy[8]

Centrální podtlakový systém

U centrálního podtlakového systému k větrání slouží centrální ventilátor, který je osazen na konci stoupacího potrubí odváděného vzduchu (většinou nad střechou objektu). Znehodnocený vzduch je odváděn z kuchyní, koupelen a WC, přívod vzduchu zajišťují přívodní prvky za otopnými tělesy, okenní štěrby a termostatické přívodní prvky.

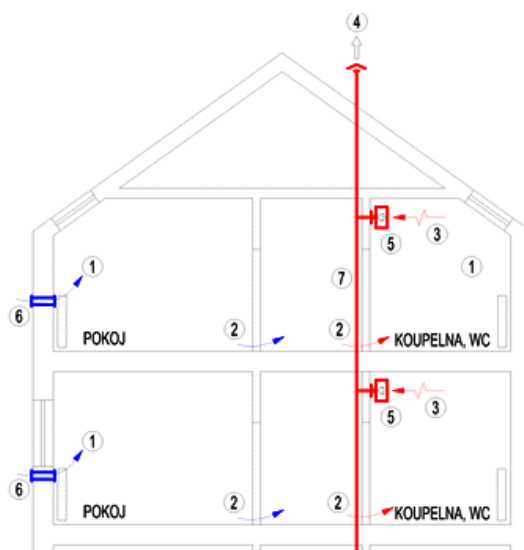


Obr.č.3 Centrální podtlakový systém[8]

Výhoda tohoto systému je v tom, že nedochází k přenosu pachu mezi jednotlivými byty a vysoká účinnost ventilátoru. Centrální ventilátor jako zdroj hluku je umístěn mimo byty, ale je nutné zabránit šíření hluku do stoupacího potrubí. Náklady spojené s provozem jsou společné pro všechny bytové jednotky. [7][8]

Decentrální podtlakový systém

Větrání umožňují lokální radiální ventilátory, které jsou napojené na stoupací potrubí. Ventilátor může sloužit jen pro odvod z jedné místnosti a nebo je opatřen několika hrdly pro odvod vzduchu z více místnosti.



Obr.č.4 Decentrální podtlakový systém[8]

Nevýhoda radiálních ventilátorů je v tom, že mají nízkou účinnost a emise hluku, kvůli tomu že jsou umístěny přímo v prostoru bytu. Z tohoto důvodu se musí volit ventilátory s nízkou hlučností. U kuchyni není vhodné připojovat digestoře s vlastními ventilátory do společného stoupacího potrubí. Důvodem je pronikání pachů do sousedních bytových jednotek. [7] [8]

Výše uvedené systémy podtlakového větrání pro pasivní domy nejsou vhodné. Důvodem je to, že přiváděný vzduch do bytu má teplotu venkovního vzduchu a tepelné ztráty větráním budou velké. Dalším důvodem je nemožnost využití zpětného získávání tepla.

Rovnotlaké systémy

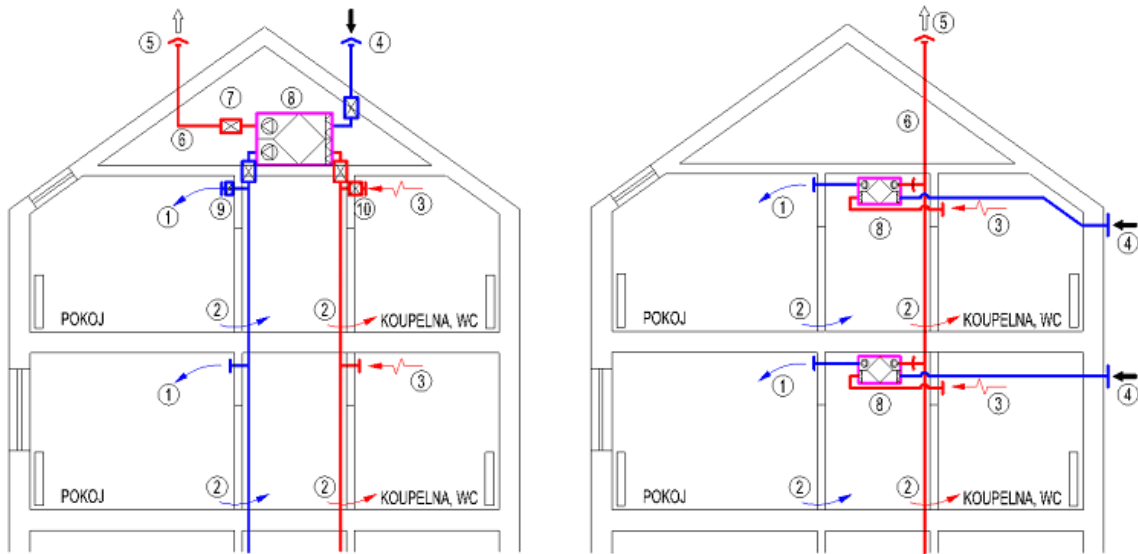
U rovnotlakého systému větrání přívod a odvod vzduchu zajištěn nuceně. Oproti podtlakovému systému, zajišťuje vyšší kvalitu větrání. Použije se tam, kde není možné přivádět podtlakem venkovní vzduch, například v lokalitách s vyšší prašností a nebo také v lokalitách s nadměrným hlukem.

Výhodou nuceného rovnotlakého systému větrání je možnost využití zpětného získávání tepla (podrobněji viz kapitola 4) z odváděného vzduchu. Kompaktní vzduchotechnická jednotka obsahuje dvojici ventilátorů, které slouží pro dopravu vzduchu, výměník zpětného získávání tepla, filtry pro hygienické úpravy vzduchu a popřípadě i ohřívač vzduchu. Tento systém je vhodné využíván při návrhu nízkoenergetických a pasivních domů a svým provozem zajišťuje značné úspory energie.

Rovnotlaké nucené větrání využívá systémy:

- centrálního větrání, kde dopravu a úpravu vzduchu zajišťuje centrální vzduchotechnická jednotka

- decentralního větrání, kde pro větrání slouží malá větrací jednotka. (podrobněji viz kapitola 5.3)



Obr.č.5 Centrální a decentralní nucené rovnotlaké větrání se zpětným využitím tepla[8]

Oproti podtlakovému větrání je nevhodný tím, že má vyšší pořizovací náklady. Dalšími nevýhody jsou prostorové nároky na umístění vzduchotechnické jednotky. [7] [8]

4. Zpětné získávání tepla

V této kapitole bych ráda stručně uvedla přehled systému zpětného získávání tepla ve vzduchotechnických zařízeních. Zpětné získávání tepla (ZZT) je využití energie, které obsahuje odváděný vzduch. Principem je předávání tepla z odváděného vzduchu do vzduchu, který se do objektu přivádí, a jež nahrazuje odváděný vzduch.

Pro ZZT používáme výměníky:

- Rekuperační (s nimiž spojen pojem rekuperace)
- Regenerační [9]

4.1 Rekuperační výměníky

Rekuperační výměníky předávají teplo pomocí zařízení, a jsou to:

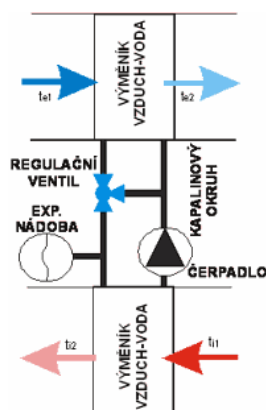
- Zařízení ZZT s přímou výměnou tepla přes teplosměnnou plochu (deskové výměníky, trubkové výměníky)
- Zařízení ZZT s výměnou tepla přes pomocnou tekutinu (lamelové výměníky s teplonosnou kapalinou; výměníky tepla s nuceným pohonem chladiva - tepelným čerpadlem; tepelné trubice)

Trubkové výměníky

U trubkových výměníků, jako teplosměnná plocha, slouží svazek trubek, jímž protéká většinou odváděný vzduch, a je obtékán vzduchem přiváděným. Používá se často v průmyslových provozech, kdy se využívá teplo ze spalin. Důvodem je téměř dokonalé oddělení proudů přiváděného a odváděného vzduchu a jsou lépe čistitelné než desky. [9]

Výměníky tepla s kapalinovým okruhem

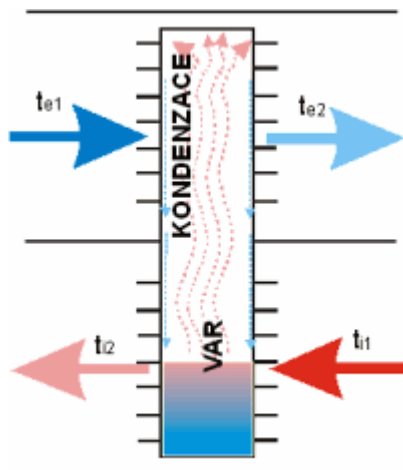
Zařízení tvoří dva výměníky tepla, nejčastěji lamelové, které jsou propojeny kapalinovým okruhem s oběhovým čerpadlem a příslušenstvím. Výměníky používají systém voda – vzduch. Jako teplosměnná látka se používá voda nebo nemrznoucí směs z důvodu nízkých venkovních teplot. Výhodou výměníků je to, že přívodní a odvodní potrubí mohou být libovolně vzdálené a tím nedochází k přenosu škodlivin z odváděného vzduchu. Nevýhodou je, že k pohybu teplonosné látky se potřebuje další energie (tepelné čerpadlo). [9] [10]



Obr.č.6 Schéma ZZT s kapalinovým okruhem [11]

Výměníky s přirozeným pohonem chladiva – tepelné trubice

Výměníky využívají přirozený oběh chladiva. Obvykle jako chladivo se používá čpavek, freon a nebo i voda. Kolem spodní část trubky obvykle proudí odváděný teplý vzduch, kde dochází k varu a odpařování chladiva a ty pak stoupají do horní části, tím se předává teplo do přiváděného vzduchu. Páry chladiva kondenzují a stékají do spodní části trubice. Účinnosti těchto rekuperátorů jsou cca do 65 %. Výhodou je, že pro pohyb chladiva nepotřebují žádný pohon. [9][10]




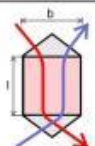
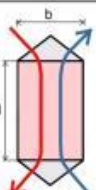
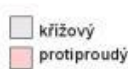



Obr.č.7 Schéma tepelné trubice [11]

Deskové výměníky

U deskových výměníků teplo se předává přes desky. Desky jsou v podobě profilovaných kanálů, a oddělují odváděný a přiváděný vzduch. Podle konstrukčního uspořádání se výměníky dělí na:

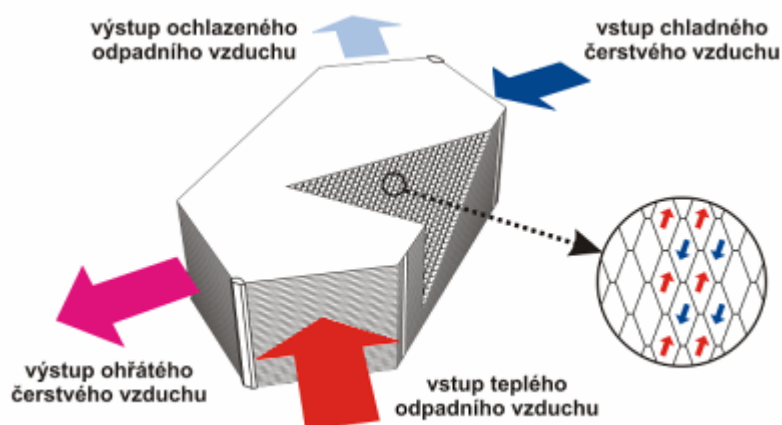
- Křížový
- Křížový protiproudý
- Protiproudý

› REKUPERAČNÍ VÝMĚNÍKY, TYPY, ÚČINNOSTI

Schéma				
Typ výměníku	křížový	křížový protiproudý	protiproudý	
Plocha výměníku [m ²]	4 – 10	6 – 14	17 – 60	
Profil proudění (řez)				
Účinnost rekuperace [%] efektivní účinnost dle PHPP	50 – 70	70 – 85 (60 – 75)	85 – 99 (75 – 92)	

Obr.č.8 Typy rekuperačních výměníků [12]

V minulosti křížové deskové výměníky s účinnosti 50-60% byly nejčastěji používanými a jsou dnes nahrazovány protiproudými výměníky, které mají účinnost až 95%. Vyšší účinnost a nízká cena rekuperátorů s protiproudým výměníkem umožnili jejich využití i v rodinných a bytových domech a dnes se uplatnili ve stavbě nízkoenergetických a pasivních budov, kde tato zařízení jsou nezbytnou požadovanou součástí.



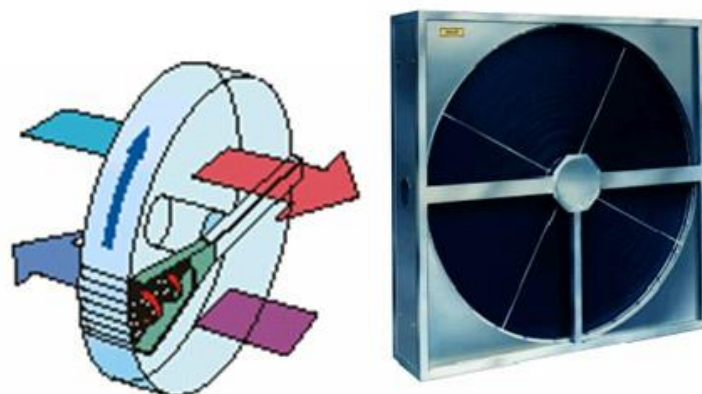
Obr.č.9 Funkční schéma protiproudého rekuperačního výměníku

Výhoda deskových rekuperátorů je v tom, že u nich může docházet ke kondenzaci, a tím se zvyšuje účinnost výměníku. U výměníku pak je nutné zajistit odvod kondenzátu se zápachovou uzávěrkou a napojit na kanalizaci. Další výhodou výměníku je bezpečné oddělení odváděného a přiváděného vzduchu. [9] [10]

4.2 Regenerační výměníky

Regenerační výměníky předávají teplo prostřednictvím akumulární hmoty, a jsou to:

- **Rotační výměníky** - základem rotačních výměníků je rotor s akumulární hmotou, který rotuje mezi proudem odváděného a přiváděného vzduchu, tím dochází k přenosu tepla nebo tepla a vlhkosti (pokud rotor je s hydrofobní vrstvou). Jejich účinnost dosahuje 70-85% a závisí na otáčkách rotoru. Výhodou je menší potřebný prostor ve vzduchotechnických jednotkách. Nevýhodou je potřeba další energie na pohon (točící stroj).



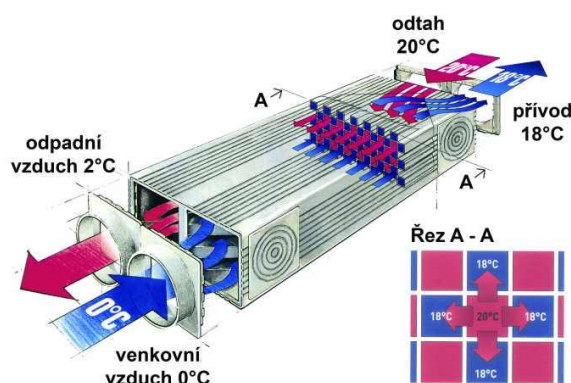
Obr. č. 10 Rotační výměník [11]

- **Přepínací výměníky** - přenos tepla probíhá prostřednictvím dvou akumulčních hmot a ve vymezených časových intervalech. Přes výměníky se pomocí přepínacích klapek střídají proudy odváděného a přiváděného vzduchu. [\[9\]](#) [\[10\]](#)

5. Nucené větrání s rekuperací v pasivních domech

5.1 Princip větracího zařízení

Nucené větrání s rekuperací tepla je nedílnou součástí nízkoenergetických a pasivních domů. Důvodem je to, že nutno snížit velké množství tepla, které uniká větráním a současně zajistit potřebnou výměnu vzduchu při dodržení tepelné pohody. Oproti běžnému větrání během topné sezóny, nucené větrání s rekuperací má úsporu energie 80% až 95%. Princip větracího zařízení s rekuperací je patrné v níže uvedeném obrázku.



Obr. č.11 Princip větracího zařízení s rekuperací [12]

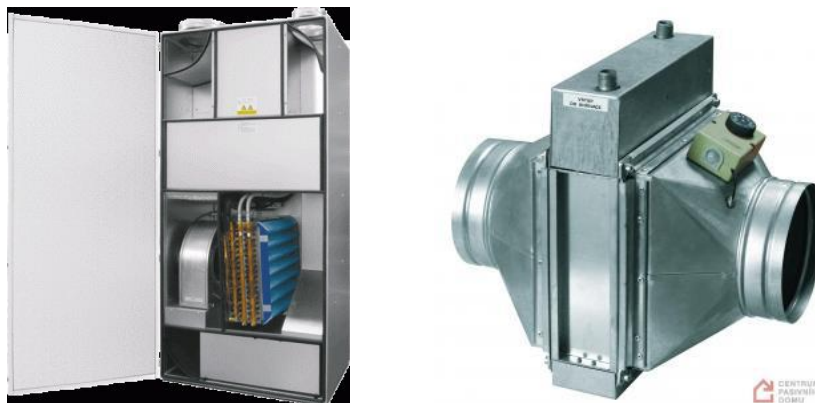
Čerstvý vzduch prochází přes filtr a pak se přivádí do větrací jednotky, kde odnímá teplo z odsávaného vzduchu z míst produkci škodlivin a vlhkosti, jako jsou koupelna, WC a kuchyně. Do obytných místnosti je přiváděn přefiltrovaný a ohřátý na téměř pokojovou teplotu vzduch a tím nevznikají nepříjemné teplotní rozdíly v místnostech. Ve výměníku tepla směry proudění přiváděného a odváděného vzduchu jsou navzájem dokonalé odděleny a nedochází tím k jejich smíchání. Filtrace vzduchu chrání vnitřní prostor před prašností v domě a kvůli alergikům je možné v zařízení nahradit obyčejné filtry pylovými filtry.

Účinnost rekuperačních výměníků by měla být pro větrání pasivních domů větší než 70% a současně spotřeba elektrické energie na úpravu vzduchu musí být co nejnižší. Nejpoužívanějším typem rekuperačních výměníků u pasivních domů jsou protiproudé deskové výměníky, které mají účinnost až 95%. [2] [12]

5.2 Teplovzdušné vytápění a větrání.

Vzduchotechnická jednotka v pasivních domech kromě nuceného rovnotlakého větrání může plnit i funkci teplovzdušného vytápění a větrání. Větrací zařízení v zimním období bude pokrývat celé tepelné ztráty a tím nahradí klasickou otopnou soustavu. Tento systém vytápění a větrání se používá jen u budov s velmi nízkou tepelnou ztrátou. Důvodem je, že vzduch oproti vodě má nízkou schopnost vést teplo a teplota přiváděného vzduchu z hygienických důvodů by měla být maximálně 50°C. Pro ohřívání čerstvého vzduchu slouží nízkoteplotní teplovodní ohříváče jako centrální ve

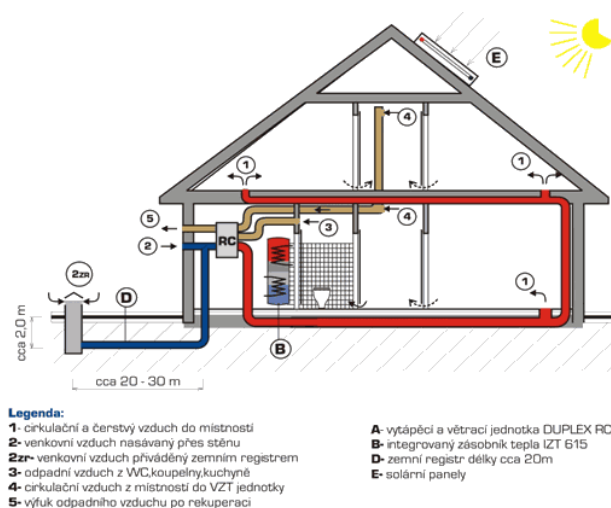
větrací jednotce nebo elektrické ohřivače jako decentralizované v přívodním potrubí u každé místnosti (obr.12). Poslední způsob ohřívání vzduchu je nákladné, vyžaduje složitou regulaci a z hygienických důvodů se nedoporučuje. Jako zdroje tepla pro teplotovzdušné vytápění lze použít tepelná čerpadla a plynové topidla, které mají možnost kombinaci se solárním zařízením.



Obr. č. 12 Teplovodní ohřivač přímo v jednotce nebo samostatný pro každou větev [12]

Nevýhoda tohoto systému je v tom, že množství vzduchu je navrhované na krytí tepelné ztráty a převyšuje minimální požadované množství vzduchu pro větrání, tím se zvyšuje spotřeba elektřiny pro pohon přívodního ventilátoru. Nevýhodou je také nemožnost regulovat teplotu v jednotlivých místnostech a absence sálavých složek, což způsobuje odlišné vnímání tepelné pohody.

V obytných budovách, zejména v rodinných domech, se používá pouze systém teplotovzdušného vytápění s cirkulací, kde navíc jednou větví z obytných místností vzduch odsáván, a tím umožňuje i pokrytí vyšších tepelných ztrát bez vysušování vzduchu a narušení hygieny vnitřního prostředí. Cirkulační vzduch se obvykle odvádí v místnosti chodby. Vzduch se pohybuje z obytných místností do chodby netěsnostmi kolem dveří nebo větracími mřížkami na dveřích. Jednotku před mrazem chrání zemní výměník tepla, který umožní předeřev chladného vzduchu v zimním období, a také zajistí ochlazení venkovního vzduchu v létě. Princip cirkulačního systému od firmy Atrea je uveden v obr.č.13



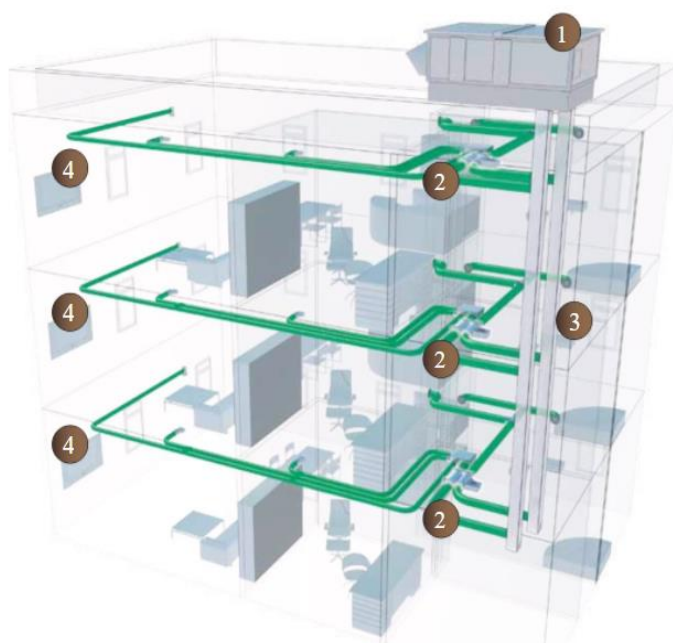
Obr.č.13 Teplovzdušné vytápění s cirkulací rodinného domu. Projekční poklad ATREA

Nevýhodou cirkulačního systému oproti kombinaci řízeného větrání a vodní otopné soustavy je velká dimenze rozvodů a jedna větev navíc pro cirkulaci. Systém je většinou využíván v novostavbách pasivních a nízkoenergetických domů a to především v budovách s vysokou tepelnou akumulací, například dřevostavby. Důvodem je rychlá reakce vzduchového systému na změny teplot. [8] [12]

5.3 Koncepte větrání v pasivních bytových domech

5.3.1 Centrální systém větrání

Centrální systém větrání se skládá z centrální jednotky včetně rekuperace, která obsluhuje všechny bytové jednotky nebo skupinu bytů u větších objektů. Princip systému je uveden v obr :

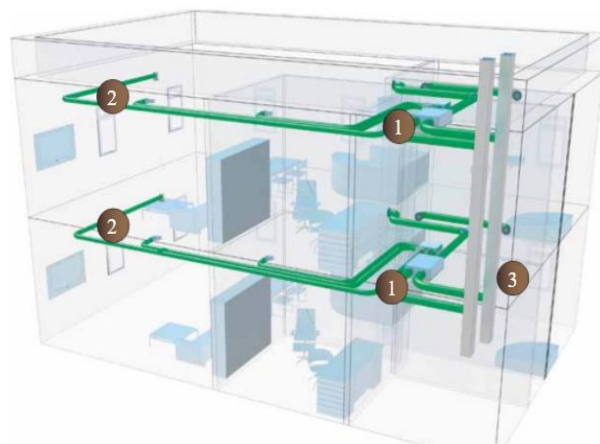


Obr.č.14 Centrální systém větrání 1 - Centrální větrací jednotka která je umístěná na střeše budovy. Může být instalována i uvnitř budovy, např. v technické místnosti nebo i ve sklepě. 2 - SMART box (chytrý VAV regulátor průtoku) na vstupu do každého bytů umožňuje regulaci výkonu větrání dle individuálních požadavků obyvatele. 3 - Společný rozvod vzduchu. Spojuje centrální jednotku s jednotlivými byty (počítat již při projektování stavby). 4 - Rozvod v prostoru bytu pro přívod čerstvého vzduchu a odtah odpadního vzduchu. [13]

Koncepce centrálního větrání je vhodný tím, že umožní společnou údržbu jednotky (např. výměna filtru a další servisní úkony) a nižší investiční náklady při větším počtu bytů. Nevýhodou je větší průměry rozvodu a u jednotlivých bytů složitější regulovatelnost. Tento systém větrání používá většina rodinných domů, bytové domy a veřejné stavby. [12]

5.3.2 Decentrální systém větrání

Decentrální systém umožní větrání jednotlivých místnosti nebo bytové jednotky. Princip systému pro bytové jednotky je uveden v obr.15:



Obr.č.15 Decentrální systém větrání 1 – Decentrální rekuperační jednotky.2 – Rozvody v prostoru bytu.3 – Centrální stoupací potrubí. [13]

Výhoda tohoto systému je v tom, že uživatel má k tomu individuální přístup (např. volba typu filtrace vzduchu dle speciálních požadavků atd.) a oproti centrálnímu systému má snazší regulovatelnost. [13]

Jednotky mohou být umístěny v technické místnosti, ve sklepě, v podhledu pod stropem (obr.) a nebo přímo v místnosti ve skříni (obr.16).

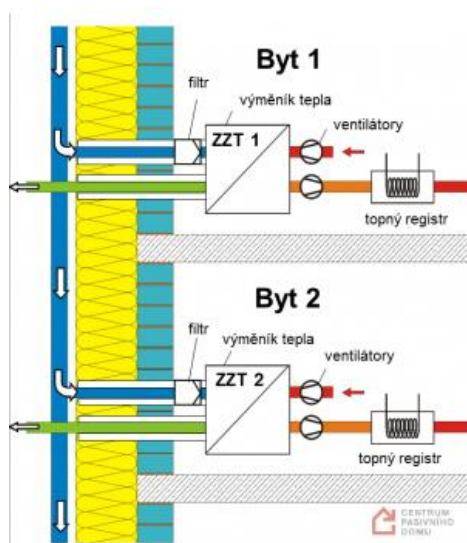


Obr.č.16 Umístění jednotky v podhledu a v interiéru do skříně [12]

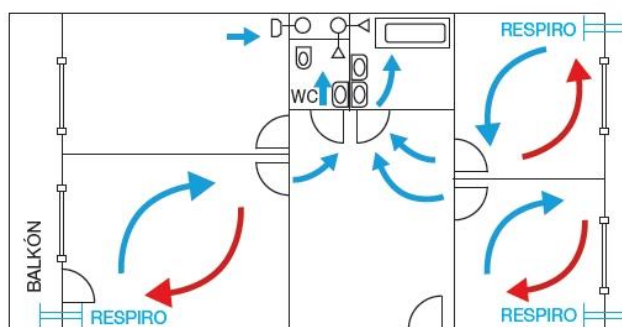
Jednotku v zimním období před mrazem chrání predehříváče, které jsou součástí jednotky.

V situacích kde není možné vést stoupací rozvody (většinou rekonstruované objekty, panelové domy atd.), přívod venkovního vzduchu do bytové jednotky popř. odvod do exteriéru se provádí přes prostupy v konstrukci stavby (obr.17). Druhá možnost je použití malé lokální jednotky v jednotlivých místnostech (obr.18). Jejich

umístění je jednodušší tím, že nemají rozvody v prostoru bytu, nutné je pouze otvory v obvodové zdi. Obvykle lokální jednotky mají nižší účinnost a určeny jen pro malé množství větraného vzduchu a jejich použití je především vhodné u malých prostor a u rekonstrukci.[12]



Obr. č.17 Decentrální systém větrání [12]



Obr. č.18 Schéma bytového větrání lokálními jednotky. Firemní podklad Respiro [14]

5.4 Rozvody

Vhodný návrh rozvodů má vliv na celkovou funkčnost systému a proto umístění rozvodů musí být stanoveno již v počáteční fázi návrhu. Rozvody by měly být co nejkratší a přímočaře, aby nedocházelo k velkým tlakovým ztrátám uvnitř zařízení. U pasivních domů není nutné přivádět teplý čerstvý vzduch u oken. Při použití kvalitních oken se nemusí vytvářet před nimi tepelnou clonu.

Potrubí mohou být z pevného pozinkovaného plechu, z plastu a nebo i z ohebné hadice kruhového nebo obdélníkového průřezu. Potrubí z pevného pozinkovaného plechu a plastu jsou vhodnější z hlediska čistitelnosti a mají menší tlakové ztráty než ohebné hadice.

Existuje mnoho způsobů umístění větracích rozvodů:

- V pohledu pod stropem – výhodou jsou kratší rozvody, vedou se zpravidla v pohledu komunikačních prostor s použitím nadedveřních vyústek (obr.19).



Obr.č.19 Rozvody pod stropem [12]

Rozvody musí mít tepelnou izolaci a opatřeny parozábranou, pokud jsou umístěny v nevytápěných prostorách budovy.

- V konstrukci podlahy – většinou u teplovzdušného vytápění a větrání, rozvody nutno izolovat min. 30-50 mm, aby nedocházelo k úbytku výkonu na vyústce. (obr. 20.)



Obr.č.20 Rozvody v podlaze

- V obkladu stěny
- V horních kuchyňských skřínkách nebo ve vestavěných skřínkách
- Odkryté pod stropem

V obytných místnostech hladina hluku nesmí překročit hodnotu 25 dB(A) a u technické místnosti 35 dB(A), proto se na rozvodech od jednotky a také mezi místnostmi pro snížení přeslechu používají tlumiče hluku. [2] [12]

6. Možnosti řešení systému větrání vybraného bytového domu

V této kapitole bych ráda popsala jednotlivé varianty systému větrání a jejich vyhodnocení a následně vybrat vhodnou variantu pro bytový dům. To by pak sloužilo jako vstupní podklady při tvorbě projektu.

6.1 Popis objektu.

Jedná se o novostavbu bytového domu se čtyřmi nadzemními podlažími a s jedním podzemním podlažím. V prvním nadzemním podlaží se nachází obchod a kavárna a hlavní vstup do budovy. Ve 2. - 4. nadzemním podlaží se nachází 3 byty na podlaží, obytné místnosti jsou orientovány na jih. Celkem v bytovém domě jsou 9 bytů velikosti 2+kk. Sítě TZB jsou orientovány na jih, objekt je napojen na veřejnou jednotnou kanalizaci.

Konstrukční systém je stěnový. Vnitřní nosné stěny mezi byty jsou ze železobetonu, obvodové nosné stěny tvoří vápenopískové zdivo YTONG P2-400PDK tl. 300 mm s kontaktním zateplením z grafitového polystyrénu EPS tl. 260mm. Vnitřní příčky jsou z vápenopískového zdiva YTONG P2-500.

6.2 Distribuce tepla v bytovém domě.

Prvním úkolem při návrhu větrání byl výběr distribuci tepla v objektu mezi teplovzdušným vytápěním a klasickou otopnou soustavou, to by pak ovlivnilo celý návrh vzduchotechnické soustavy.

V případě teplovzdušného vytápění a větrání vzduchotechnická jednotka bude hradit celé tepelné ztráty, jen koupelna bude vytápěná standardně topnými žebříky nebo podlahovým topením. Při tvorbě projektu bylo postupně zjištěno, že navrhovat teplovzdušné vytápění a větrání do vybraného bytového domu je složité. Důvodem je velké dimenze potrubí, omezené prostory pro vedení a také umístění jednotky, k tomu je jedná větev navíc pro cirkulační vzduch. Tím pádem v projektu bytového domu byl zvolen samostatný systém větrání v kombinaci s běžným systémem vytápění. Tento systém používá většina pasivních bytových domů na území České republiky.

Výhoda pasivních domů je v tom, že zdroje tepla nemusí být umístěny u oken, teplota na povrchu skla je vyšší a tím nedochází ke kondenzaci vlhkosti a teplo je distribuováno budovou rovnoměrně. Při vytápění pasivních domů se používají radiátory, stěnové nebo podlahové topení. Neobvyklým způsobem je pak použití malých otopných těles v místě nadedveřní vyústky nebo radiátoru za dveřmi, což uvolňuje dispozice bytu. (viz. obr.21 obr. 22) [\[12\]](#)



Obr. č.21 Otopné těleso v místě nadedvěrní vyústky Pasivní bytový dům pro seniory Modřice. Zdroj: Stavba roku



Obr. č.22 Otopné těleso za dveřmi [12]

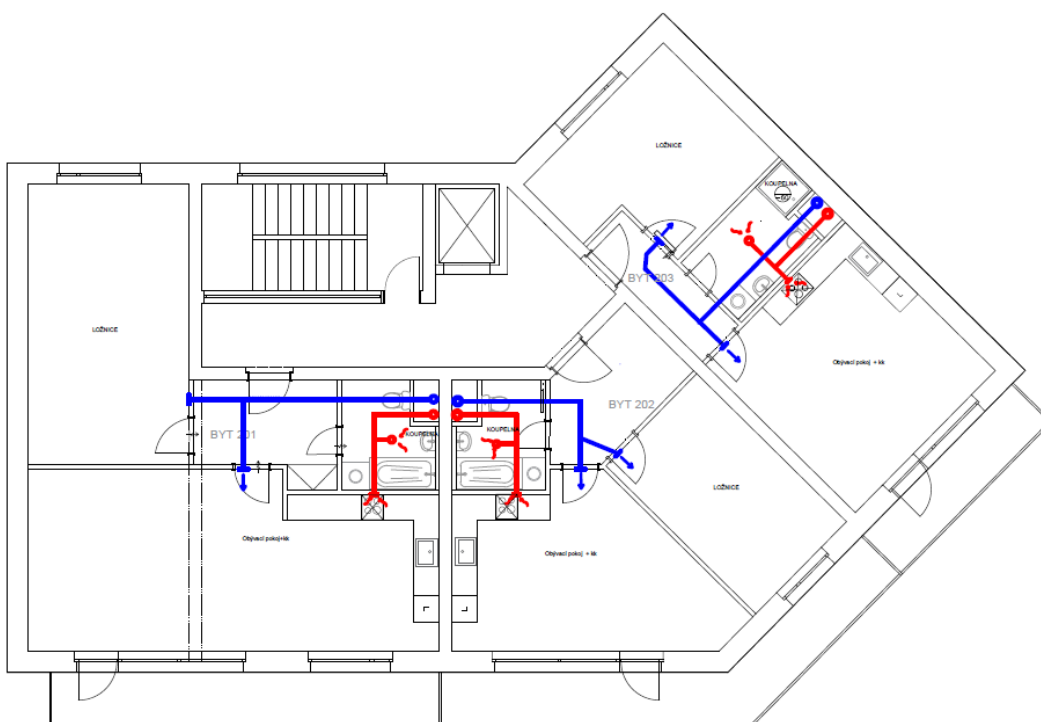
Výběr padl na otopných tělesech, které budou umístěny v místě přívodních elementů nad dveřmi, část tepla bude dohřívat vzduch a další část tvořit sálavou složku, tím otopný systém bude spolupracovat se vzduchotechnickou soustavou. V praktické části pak budou spočteny tepelné ztráty dle ČSN EN 1283 a bude proveden schématický návrh vytápění obytné části budovy.

Obytné místnosti před přehříváním v letním období bude chránit noční chlazení pomocí vzduchotechnické jednotky a stínění balkonů.

6.3 Výběr systému větrání .

Větrání v bytovém domě bude provedeno dle požadavků na pasivní domy jako rovnotlaké s rekuperací tepla. Jako větrací zařízení bude zvolena jednotka od firmy ATREA, které mají velký sortiment větracích jednotek pro nízkoenergetické a pasivní bytové domy, navíc firma nabízí svůj vlastní návrhový program pro výběr vhodné jednotky.

Pro pasivní domy rozlišujeme dvě varianty systému větrání - centrální a decentrální. První možnost pro systém větrání je centrální systém. Centrální jednotka může obsloužit všechny byty nebo skupinu stejných bytu nad sebou. Každý byt se napojí na rozvod vzduchu pomocí regulačního boxu. Centrální jednotka je umístěna na střeše objektu nad stoupacím potrubím.



Obr. č.23 Schéma centrálního systému větrání

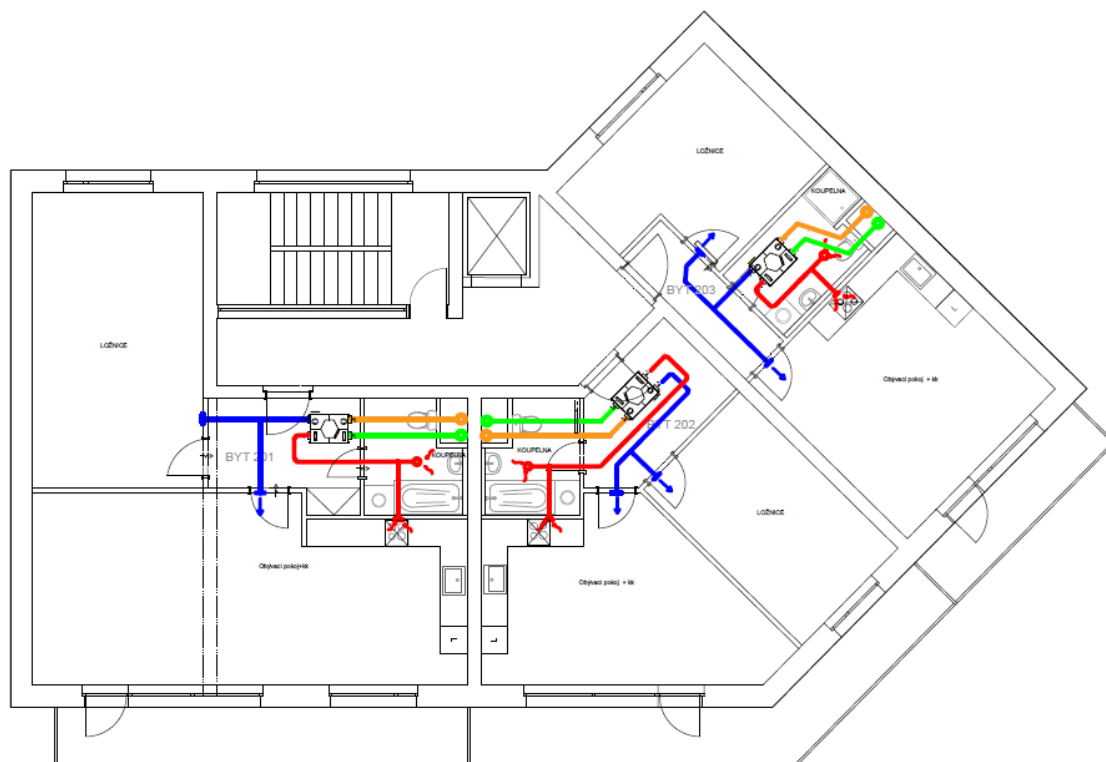
Výhody:

- Nižší náklady na provoz a údržbu jednotky
- Individuální ovládaní pomocí regulačního boxu;
- Připojení a ovládaní přes internetové rozhraní.

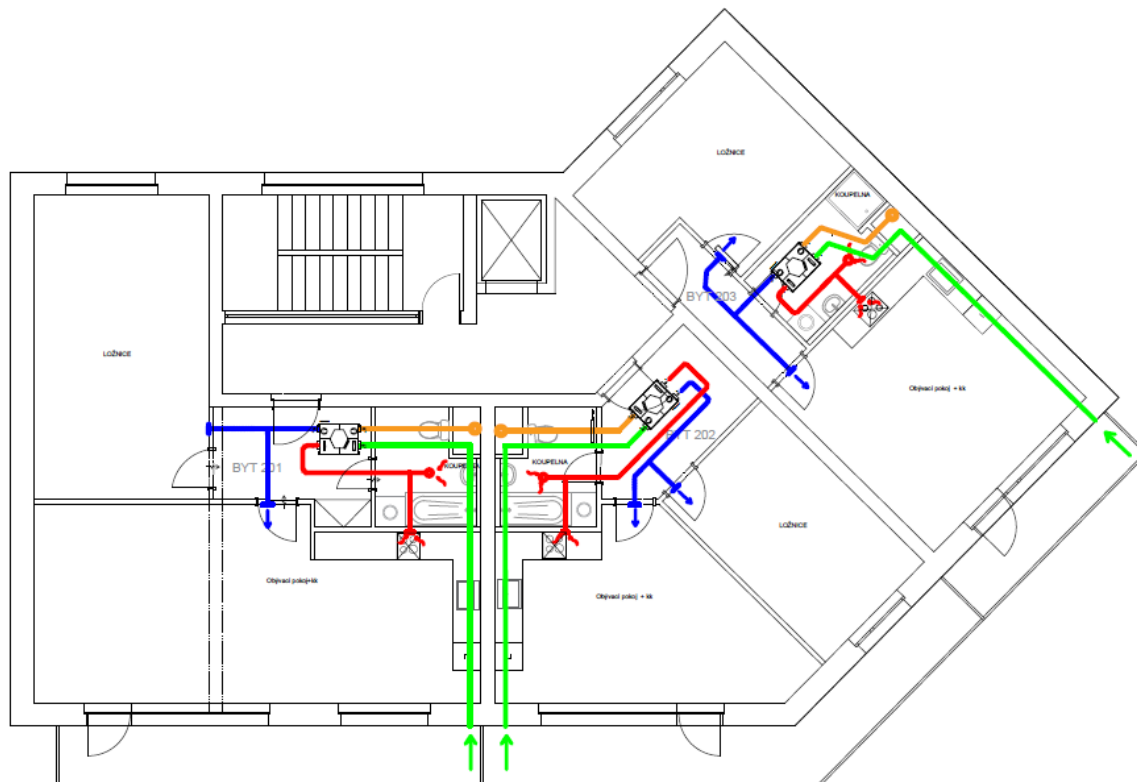
Nevýhody:

- Společné rozpočítání nákladu;
- Oproti decentrálnímu systému složitější regulovatelnost;
- Systém ovlivněn jednotlivými byty;
- Obvykle objemové průtoky centrální jednotky jsou určeny na několika tisíc a návrh nástřešní centrální jednotky pro 3 byty nad sebou kvůli malému množství vzduchu je z ekonomického hlediska nevhodný.
- Při návrhu centrální jednotky pro celý dům – velké tlakové ztráty a navíc při poruše soustavy postrádá celý systém.

Druhá možnost je decentrální systém. Větrání zajišťuje samostatná větrací jednotka pouze v příslušném bytě.



Obr.č.24 Schéma decentrálního systému větrání. Varianta 1



Obr.č.25 Schéma decentrálního systému větrání. Varianta 2

Výhody:

- Soukromí – řešení jednotlivých uživatelů nezávislá na celém domě;
- Individuální přístup při výběru filtrace
- Možnost zónování bytu
- Připojení a ovládaní přes internetové rozhraní
- Porucha bytové jednotky neovlivní celý systém větrání v objektu

Nevýhody:

- Systém potřebuje větší prostor pro umístění jednotky a vedení potrubí.

Hlavní výhodou decentrálního systému je soukromí a individuální nastavení. Filtry ve vzduchotechnice čistí vzduch od prachových i pylových částic, což ocení především alergici. Vzhledem k menšímu počtu bytu (pořizovací náklady decentrálního systému pro 9 bytů jsou poměrně malé) a z výše uvedených hodnocení byl zvolen decentrální systém větrání.

Umístění bytové jednotky budou provedeny v podhledu pod stropem v komunikačním prostoru bytu. V bytech kde se neumožnilo umístit jednotku v předsíni bytu, umístění bude řešeno do podhledu v koupelně. Důležité je nezapomenout na manipulační prostor potřebný pro údržbu jednotky.

Dalším krokem bylo řešení přívodu čerstvého vzduchu do jednotky a výfuk odpadního vzduchu. Odvod vzduchu do exteriéru je zajištěn stoupacím potrubím do střechy. Přívod čerstvého vzduchu do jednotky je možné zajistit přes prostupy v konstrukci stavby (Varianta 2) nebo i společným potrubím (Varianta 1). Sání čerstvého vzduchu přes otvory v obytných místnostech není vhodné pro pasivní dům. Princip pasivního domu je eliminace větších počtu otvorů a přísný požadavek na celkovou neprůvzdušnost obálky budovy, které nesmí překročit hodnotu $0,6h^{-1}$. Z tohoto důvodu, přívod čerstvého vzduchu bude zajištěn stoupacím potrubím v instalační šachtě. Nasávání čerstvého vzduchu je ze severní fasády prvního nadzemního podlaží, aby v letním období nedocházelo k ohřívání vzduchu.

Objem vzduchu převáděných do jednotlivých místnosti je zvolen dle doporučené intenzity větrání a předpokládaných počtu osob. Množství odváděného a přiváděného vzduchu nastaveny pro rovnotlaké větrání. Rekuperační jednotka je zvolena dle vypočtených hodnot a posouzení v návrhovém programu *ATREA DUPLEX verze 8.80*

Všechny rozvody vedeny v podhledech mimo obytné místnosti. Odvětrání v kuchyni bude provedeno cirkulačními digestořemi s filtry pro mastnotu a pachy.

7. Závěr

Cílem této práce bylo po seznámení s principy a možnostmi návrhu větrání pasivních domů, vybrat vhodné řešení systému větrání s rekuperací pro pasivní bytový dům.

Princip pasivního domu je jednoduchý – snížit závislost budovy na dodávkách. Pro splnění principu se pasivní dům neobejde bez větrání s rekuperací, která pomáhá snížit tepelné ztráty budovy větráním. Právě na minimalizaci tepelných ztrát objektu má vliv nejen větrání s rekuperací. To je jen jedna z malých možných cest k úsporám energie. Důležité je také kvalitní provedení stavby, volba tepelné soustavy a chování jednotlivých uživatelů.

Během tvorby návrhu jednotlivých variant byl kladen velký důraz na požadavky pro stavbu pasivních domů a také na konstrukční a dispoziční podmínky objektu. Po vyhodnocení všech aspektů byl zvolen samostatný systém větrání s rekuperací v kombinaci s běžným systémem vytápění. Každý byt má svou malou rekuperační jednotku, která spolupracuje s otopnými tělesy. Výhody spolupráce obou systémů spočívají v možnostech regulovatelnosti a nastavení dle režimu uživatelů bytu nejen větrací jednotky ale i také otopné soustavy. Navíc rekuperační jednotky zajišťují dostatečné množství čerstvého vzduchu a příjemné prostředí v bytech.

Seznam použité literatury a podkladů

- [1] TYWONIAK J. Nízkoenergetické domy 2 Principy a příklady. 1.vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2008. ISBN 978-80-247-2061-6.
- [2] PREGIZER P. Zásady pro stavbu pasivního domu. 1.vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2009. ISBN 978-80-247-2431-7.
- [3] JELÍNEK VLADIMÍR, LINHARTOVÁ VLADIMÍRA. Interní mikroklima v bytových domech. In: TZB-INFO [online]. 27.10.2014 [cit. 15.3.2018]. Dostupné z <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/11888-interni-mikroklima-v-bytovych-domech>
- [4] DOLEŽÍLKOVÁ Hana. Bytové větrání ve vztahu k produkci CO₂, vlhkosti a škodlivin (II). In: TZB-INFO [online]. 6.2.2006 [cit. 15.3.2018]. Dostupné z <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/3042-bytove-vetrani-ve-vztahu-k-produkci-co2-vlhkosti-a-skodlivin-ii>
- [5] MATHAUSEROVÁ Zuzana. Hygienické požadavky na vnitřní prostředí staveb. In: TZB-INFO [online]. 2013. [cit. 16.3.2018]. Dostupné z <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/9595-hygienicke-pozadavky-na-vnitri-prostredi-staveb>
- [6] GEBAUER G., RUBINOVÁ O., HORKÁ H. Vzduchotechnika. Era , Brno 2005, 262 s. ISBN 80-7366-027-X.
- [7] CIFRINEC Ivan. Větrání bytových domů - Základy teorie větrání. In: TZB-INFO [online]. 25.2.2013 [cit. 17.3.2010]. Dostupné z <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-bytovych-domu/6507-vetrani-bytovych-domu-zaklady-teorie-vetrani>
- [8] ZMRHAL. V. Větrání rodinných a bytových domů. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2014. ISBN 978-80-247-4573-2
- [9] DRKAL, F., ZMRHAL, V. Větrání. 2. vyd. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT. ČVUT v Praze 2017. ISBN 978-80-01-05181-8
- [10] ZIKÁN Zdeněk. Zpětné získávání tepla a větrání objektů. In: TZB-INFO [online]. 22.3.2010 [cit. 20.3.2018]. Dostupné z <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/6325-zpetne-ziskavani-tepla-a-vetrani-objektu>
- [11] LAIN Miloš. Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci (II). In: TZB-INFO [online]. 20.11.2006 [cit. 20.3.2018]. Dostupné z <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/3688-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-ii>
- [12] Centrum pasivního domu [online]. Větrání a vytápění, Informační list. ©2013CPD. [cit. 4.04.2018] Dostupné z <http://www.pasivnidomy.cz/vetrani-a-vytapeni/t4029?s=102>

[13] ATREA [online] Systémy větrání. Bytové domy. Katalog systému větrání verze 11/2017. [cit. 13.04.2018]. Dostupné z http://www.atrea.cz/img/jednotky/vetrani_bytovych_domu-cz/files/assets/basic-html/index.html#16

[14] ELEKTRODESIGN ventilátory s.r.o [online] Malá větrací jednotka s rekuperací tepla RESPIRO. Dostupné z <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/web/aktuality/nove-vyrobky/respiro-lokalni-vetraci-jednotka-s-rekuperaci>

Seznam použitých obrázků

- Obr.č.1** Roční měrná potřeba tepla na vytápění podle kategorií budov [1]
- Obr.č.2** Schéma větrání: šachtové; šachtové s větráčími hlavicemi;šachtové s rotačními hlavicemi [7]
- Obr.č.3** Centrální podtlakový systém [8]
- Obr.č.4** Decentrální podtlakový systém [8]
- Obr.č.5** Centrální a decentrální nucené rovnotlaké větrání se zpětným využitím tepla [8]
- Obr.č.6** Schéma ZZT s kapalinovým okruhem [11]
- Obr.č.7** Schéma tepelné trubice [11]
- Obr.č.8** Typy rekuperačních výměníků [12]
- Obr.č.9** Funkční schéma protiproudého rekuperačního výměníku [12]
- Obr. č .10** Rotační výměník [11]
- Obr. č.11** Princip rovnotlakého větrání s rekuperací [12]
- Obr. č. 12** Teplovodní ohřívač přímo v jednotce nebo samostatný pro každou větev [12]
- Obr.č.13** Teplovzdušné vytápění s cirkulací rodinného domu. Projekční poklad od firmy ATREA
- Obr.č.14** Centrální systém větrání [13]
- Obr.č.15** Decentrální systém větrání 1 – Decentrální rekuperační jednotky.2 – Rozvody v prostoru bytu.3 – Centrální stoupační potrubí. [13]
- Obr.č.16** Umístění jednotky v podhledu a v interiéru do skříně [12]
- Obr. č.17**Decentrální systém větrání [12]
- Obr. č.18** Schéma bytového větrání lokálními jednotky [14]
- Obr.č.19** Rozvody pod stropem [12]
- Obr.č.20** Rozvody v podlaze
- Obr. č.21** Otopné těleso v místě nadedvěrní vyústky. Pasivní bytový dům pro seniory Modřice. Zdroj: Stavba roku
- Obr. č.22** Otopné těleso za dveřmi [12]
- Obr. č.23** Schéma centrálního systému větrání. Zdroj: autor
- Obr.č.24** Schéma decentrálního systému větrání.Varianta1. Zdroj: autor

Obr.č.25 Schéma decentrálního systému větrání. Varianta 2. Zdroj: autor

Seznam tabulek

Tabulka č.1 Základní charakteristiky pasivních budov podle ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky, 2011

Tabulka č.2 Hlavní zdroje vlhkosti v budově a jeho množství v bytě [3]

Tabulka č.3 Účinky CO₂ na lidský organismus[5]

Tabulka č.4 Požadavky na větrání obytných budov podle národní přílohy Z1 k ČSN EN 15665[3]

Tabulka č.5 Zdroje a produkované škodliviny v budovách [3]