



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Rekuperace tepla z větraného vzduchu

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Vitek, CSc.

Martin Borufka

Praha 2014

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Borufka** Martin

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektrotechnika a management

Název tématu:

Rekuperace tepla z větraného vzduchu

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše způsobů rekuperace tepla
2. Výhody a nevýhody typických řešení
3. Odhad investičních a provozních výdajů pro bytový dům
4. Doporučení pro investora

Seznam odborné literatury:

1. Schild P.G.: Building ventilation. London, Earthscan. 2006.
2. Petrák J., Petrák M.: Tepelná čerpadla. Praha, ČVUT-FSI, 2004.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miroslav Vitek, CSc.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015

Doc. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.

vedoucí katedry



Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.

děkan

V Praze dne 10.2.2014

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu této práce Ing. Miroslavu Vítkovi, CSc. za poskytnutí řady materiálů, ale také přístupu k bytovému domu v Praze Lužinách. Dále tímto děkuji panu Jiřímu Sedláčkovi ze společnosti NIBE ENERGY SYSTEMS CZ za odborné konzultace. V neposlední řadě děkuji své rodině a kamarádům za podporu při studiu.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

podpis

Anotace

Tato práce se zaměřuje na problematiku rekuperace energie z větraného vzduchu. Hlavním cílem této práce je navrhnout systém, který by byl schopen účinně využívat teplo z ventilace pro ohřev teplé užitkové vody, odhadnout jeho investiční a provozní výdaje a pomocí výpočtů ověřit ekonomickou výhodnost tohoto projektu.

Klíčová slova:

rekuperace, teplo, ventilace, odpadní vzduch, tepelné čerpadlo, ohřev TUV

Annotation

This thesis focuses on an issue of waste air heat recovery. Aim of this thesis is to propose a system, which would be capable of effective usage of ventilation heat for heating of domestic hot water, to estimate investment and operational spendings of this system and to calculate its economic profitability.

Keywords:

heat recovery, heat, ventilation, waste air, heat pump, domestic hot water heating

Obsah

1	Úvod.....	- 10 -
2	Rekuperace tepla z větraného vzduchu.....	- 11 -
2.1	Základní princip rekuperace tepla.....	- 11 -
2.2	Rekuperátory	- 11 -
2.2.1	Regenerační tepelné výměníky.....	- 12 -
2.2.2	Rekuperační výměníky tepla	- 12 -
2.2.2.1	Deskové výměníky tepla	- 12 -
2.2.2.2	Trubkové výměníky tepla.....	- 14 -
2.2.2.3	Výměníky tepla s tepelnými trubicemi.....	- 14 -
2.2.2.4	Výměníky tepla s tepelnými čerpadly	- 15 -
2.2.3	Tepelná čerpadla vzduch-voda	- 15 -
3	Popis objektu.....	- 17 -
3.1	Obecný popis objektu.....	- 17 -
3.2	Původní řešení vzduchotechniky.....	- 18 -
3.3	Současné řešení vzduchotechniky	- 19 -
3.3.1	Popis systému ventilace	- 19 -
3.3.2	Vlastnosti větraného vzduchu	- 20 -
3.4	Komín se spalinami z plynových kotlů.....	- 21 -
4	Navrhovaná řešení	- 22 -
4.1	Rovnotlaké větrání s rekuperací.....	- 22 -
4.1.1	Centralizované rovnotlaké větrání	- 23 -
4.1.2	Decentralizované rovnotlaké větrání	- 23 -
4.2	Tepelné čerpadlo s ohřevem TUV	- 24 -
4.2.1	Obecný popis systému	- 25 -
4.2.2	Konkrétní popis systému	- 25 -

4.2.2.1	Tepelné čerpadlo	- 25 -
4.2.2.2	Výměníky tepelného čerpadla	- 27 -
4.2.2.3	Okruh chladiva	- 28 -
5	Odhad investičních a provozních výdajů pro bytový dům	- 29 -
5.1	Odhad investičních výdajů	- 29 -
5.1.1	Odhad ceny tepelného čerpadla	- 29 -
5.1.2	Odhad ceny akumulční nádrže	- 29 -
5.1.3	Odhad ceny ostatních komponentů	- 29 -
5.1.4	Odhad ceny konstrukčních a montážních prací	- 29 -
5.1.5	Celkový odhad investičních výdajů	- 30 -
5.2	Odhad provozních výdajů	- 30 -
5.2.1	Odhad roční spotřeby tepla pro ohřev TUV	- 30 -
5.2.2	Odhad ceny 1 kWh elektřiny	- 30 -
5.2.3	Odhad roční spotřeby elektřiny tepelného čerpadla	- 30 -
5.2.4	Odhad roční platby za elektřinu	- 31 -
5.2.5	Odhad ročních výdajů za údržbu	- 31 -
5.2.6	Odhad celkových ročních provozních výdajů	- 31 -
6	Doporučení pro investora	- 32 -
6.1	Životnost navrženého systému	- 32 -
6.2	Roční úspora oproti ohřevu TUV plynem	- 32 -
6.3	Výpočet NPV	- 32 -
6.4	Citlivostní analýza	- 33 -
6.4.1	Změna diskontní míry	- 33 -
6.4.2	Změna ceny elektřiny	- 33 -
6.4.3	Změna ceny plynu	- 34 -
7	Závěr	- 36 -
8	Použité zdroje	- 37 -

9	Seznam obrázků.....	- 39 -
10	Seznam grafů	- 40 -

1 Úvod

Neustálý nárůst cen energií v posledních letech vedl k významnému zvýšení nákladů na provoz domácností a každý začal přemýšlet, jak tyto náklady snížit. Průzkumy ukazují, že 60 % spotřebované energie v českých domácnostech je využito pro potřeby vytápění. Logicky tak přicházelo v úvahu ušetřit na vytápění a toho se dobře dosáhne zateplením budov.

Mnoho našich domácností se ocitlo ve stavu, kdy jsou budovy zatepleny a jejich okna jsou vyměněna za moderní, velice těsná. Podařilo se tak snížit tepelné ztráty a tím i srazit účty za energie, ale samotné zateplení neřeší problém ztrát ventilací, které se na celkových tepelných ztrátách podílí velice významnou měrou. Ztráty tepla ventilací není možné úplně odstranit, lze je ale velice výrazně omezit a to pomocí rekuperace tepla z větraného vzduchu.

Teplo z větraného vzduchu lze „rekuperovat“ dvěma způsoby. Tím prvním je systém založený na nucené výměně vzduchu. Je to velice zajímavé řešení, které s sebou přináší řadu výhod, bohužel se hodí spíše do pasivních staveb a jeho instalace do již starších staveb je náročná. Tím druhým způsobem je využití tepelného čerpadla, větraný vzduch proudí jeho výměníkem. Takto znovuzískané teplo lze dále využít ať už k ohřevu teplé užitkové vody či k vytápění.

V této práci popíšu základní princip rekuperace tepla, představím systémy, které využívají teplo z větraného vzduchu, navrhnou konkrétní řešení pro bytový dům v Praze Lužinách, odhadnu cenu tohoto řešení a případnému investorovi spočítám, jestli se vyplatí do navrženého řešení investovat.

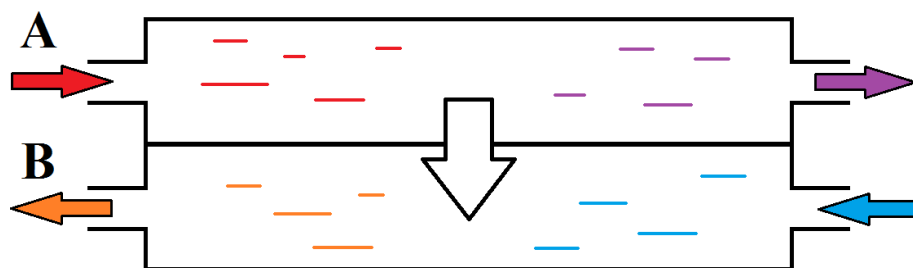
2 Rekuperace tepla z větraného vzduchu

V této kapitole je vysvětleno, co to rekuperace je, jak funguje a kde všude lze využít.

2.1 Základní princip rekuperace tepla

Co to vlastně znamená rekuperace? Výkladový slovník Oxford Dictionary of English uvádí, že jde o slovo latinského původu a v doslovném překladu znamená zpětné získávání. V našem případě se jedná o zpětné získávání tepla.

K tomu, aby zpětné získávání tepla ze vzduchu, ale například i vody, mohlo proběhnout, je zapotřebí tzv. rekuperátor. Jedná se o konvenční výměník tepla, kde probíhá tepelná výměna mezi dvěma médii. Teplejší médium A předává část své energie chladnějšímu médiu B (obr. 1).



Obr. 1: Princip rekuperace tepla. Zdroj [5]

Pro případ rekuperace větraného vzduchu platí následovné: Teplý vydýchaný vzduch (médium A) vstupuje do rekuperátoru, předává svou energii a vystupuje z rekuperátoru ven z budovy. Čerstvý studený vzduch (médium B) vstupuje do rekuperátoru a vystupuje ohřátý dovnitř budovy.

Stejný princip lze využít i pro rekuperaci tepla z odpadní vody, kdy odpadní voda předeřívá čistou vodu před vstupem do bojleru.

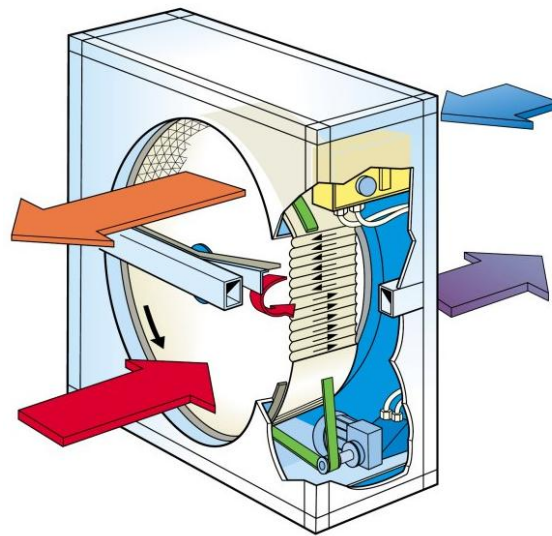
2.2 Rekuperátory

V praxi se používají dva typy rekuperátorů: regenerační (cyklické) a rekuperační (statické) tepelné výměníky. V této podkapitole představím výměníky, které se v oboru vzduchotechniky využívají nejčastěji.

2.2.1 Regenerační tepelné výměníky

Regenerační výměníky si předávají teplo skrze výplň, která je střídavě vystavena teplému a studenému médiu. Média si jsou v těchto tepelných výměnících schopny předávat i vlhkost.

V oboru rekuperace vzduchu se používají především rotační výměníky tepla. Jejich hlavní částí je otáčející se kovová výplň, složená z mnoha kanálků, přes které proudí vzduch (obr. 2). Výhodou těchto výměníků je vysoká účinnost, malé rozměry a regulace účinnosti změnou otáček rotující výplně. Na druhou stranu obsahují elektrický pohon, média se můžou částečně smísit, proto by tento typ výměníku neměl být využit pro odvětrávání škodlivých látek.



Obr. 2: Rotační tepelný výměník. Zdroj [11]

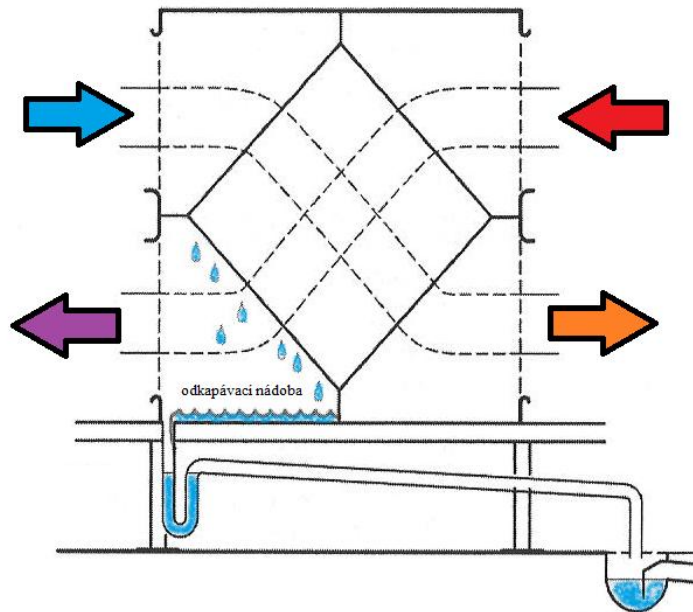
2.2.2 Rekuperační výměníky tepla

U rekuperačních tepelných výměníků si média předávají energii dvěma způsoby: přes oddělující stěnu pomocí její tepelné vodivosti nebo pomocí dalšího média, které zprostředkovává přenos (u tepelných trubíc a tepelných čerpadel). Velkou výhodou těchto výměníků je fakt, že média, která si předávají energii, spolu nepřijdou do kontaktu.

2.2.2.1 Deskové výměníky tepla

Deskové výměníky jsou v oboru vzduchotechniky nejpoužívanější. Skládají se z tenkých desek utvářejících kanálky, které navzájem oddělují čerstvý a odpadní vzduch. Teplo je přenášeno vodivostí desek. Jednoduchost a dobrá účinnost je ale vykoupena velkou náchylností na okolní teplotu. Pokud teplota desek klesne pod 0°C, v kanálkách odpadního vzduchu se může

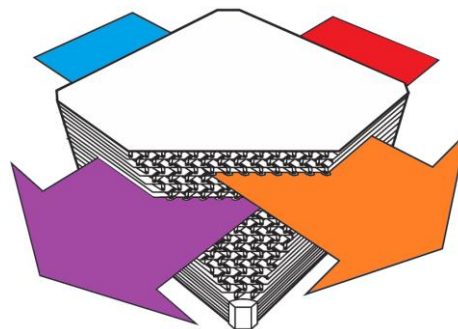
tvořit led a nakonec se mohou úplně ucpat. Proto je v zimě velmi důležité zajistit odvod kondenzované vody (obr. 3).



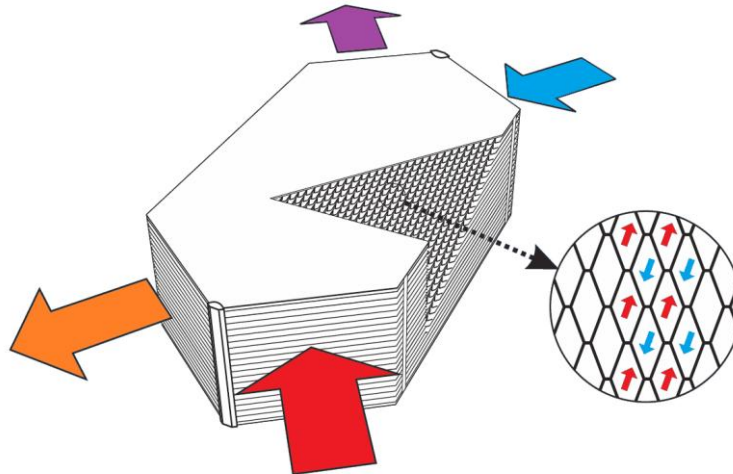
Obr. 3: Příklad správného odvedení kondenzované vody z deskového výměníku tepla. Zdroj [2]

Z důvodu netěsností deskových výměníků dochází k promíchání čerstvého a odpadního vzduchu, jedná se ale o malé množství z celkového vzduchu, přibližně 1-3%.

Deskové výměníky tepla lze dále rozdělit dle rozložení kanálku. Nejpoužívanější je typ „cross-flow“ (obr. 4), v poslední době se ale oblíbenějšími stávají výměníky typu „counter-flow“ (obr. 5), které sice dosahují větší účinnosti, ale jsou zároveň ještě náchylnější k námraze.



Obr. 4: Deskový výměník tepla typu „cross-flow“. Zdroj [8]



Obr. 5: Deskový výměník tepla typu „counter-flow“ Zdroj [8]

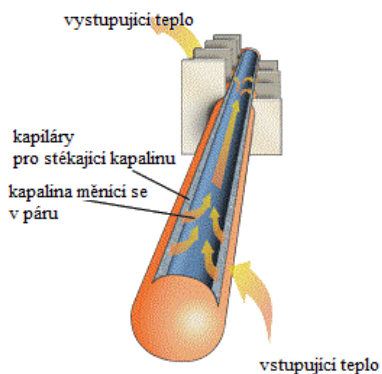
2.2.2.2 Trubkové výměníky tepla

Trubkové výměníky tepla pracují na stejném principu jako deskové. Oproti nim mají sice menší účinnost, na druhou stranu se lépe čistí (mohou být dokonce vybaveny systémem automatického čištění), nepodléhají korozi (trubky mohou být vyrobeny například ze skla), riziko námrazy je nižší a obecně mají lepší těsnost.

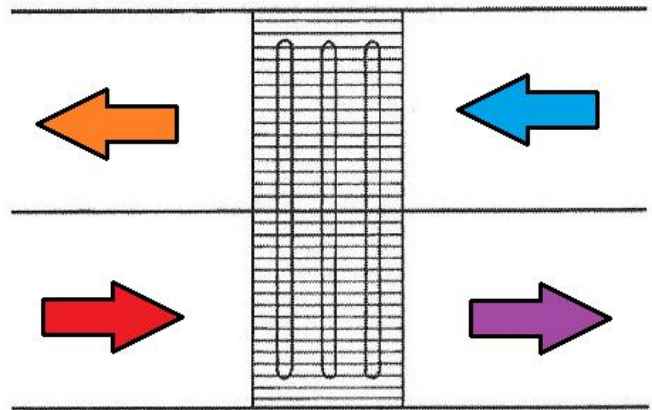
2.2.2.3 Výměníky tepla s tepelnými trubicemi

Tyto výměníky tepla využívají výborných vodivých vlastností tepelných trubic (obr. 6). Jedná se o duté kovové trubice, které jsou naplněny pracovní kapalinou. Pokud je spodní konec trubice zahřán, pracovní kapalina se odpaří, odebere ze svého okolí teplo a stoupá trubicí. Na horním konci trubice pracovní kapalina kondenzuje a předává teplo. Zkondenzovaná kapalina stéká po stěně dolů a proces se opakuje. Tepelné trubice mají o několik řádů vyšší vodivost než například měď.

V případě rekuperátoru (obr. 7) dole proudí odpadní vzduch, ohřívá pracovní kapalinu, která kondenzováním předává teplo čerstvému vzduchu. Tento typ rekuperátoru má velmi vysokou účinnost za chladnějšího počasí a je odolnější proti námraze.



Obr. 6: Princip tepelné trubice. Zdroj [13]



Obr. 7: Výměník tepla s tepelnými trubicemi.

Zdroj [2]

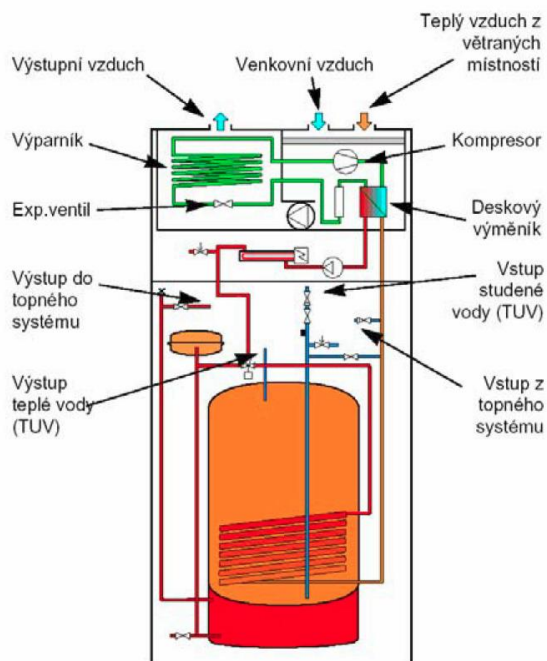
2.2.2.4 Výměníky tepla s tepelnými čerpadly

Tepelná výměna je u některých výměníků realizována pomocí tepelného čerpadla. Jedná se o drahé a náročné řešení, které ovšem má několik výhod. Účinnost rekuperace lze dobře regulovat, lze předejít namrzání a hodí se i pro případy, kdy je třeba naopak čerstvý vzduch, který vstupuje do budovy, ochlazovat. Používá se tedy především u klimatizovaných budov.

2.2.3 Tepelná čerpadla vzduch-voda

Dosud jsme se věnovali pouze rekuperátorům, u kterých probíhá výměna tepla mezi odpadním a čerstvým vzduchem, tedy tzv. rekuperátory typu vzduch-vzduch. U některých budov ale není možné tyto rekuperátory využít, protože nemají zřízený přívod čerstvého vzduchu. I zde je ovšem možné využívat teplo z větraného vzduchu a to díky rekuperátorům typu vzduch-voda.

Funkční schéma tohoto systému ukazuje obr. 8. Odpadní vzduch je odváděn z obytných prostor a je smísen s chladnějším vnějším vzduchem. Dále tento smíšený vzduch prochází přes výparník tepelného čerpadla, kde předává svou energii chladivu. Chladivo je následně stlačeno v kompresoru (prudce vzroste jeho teplota). Stlačené chladivo v kondenzátoru předá svou tepelnou energii otopné vodě (ta se využívá k vytápění nebo ohřívá teplou užitkovou vodu v bojleru). Chladivo pokračuje do expanzního ventilu (poklesne jeho teplota) a proudí zpět do výparníku, aby se celý proces mohl opakovat.



Obr. 8: Funkční schéma tepelného čerpadla vzduch-voda pro vytápění a ohřev TUV. Zdroj

[7]

Teplo získané tímto tepelným čerpadlem se nejčastěji využívá pro ohřev teplé užitkové vody (dále jen TUV). Tepelné čerpadlo není možné z ekonomických důvodů použít jako špičkový zdroj tepla, pro tento systém je tedy nutné použití akumulčního zásobníku, který předejde TUV před vstupem do bojleru. Bojler je nutné doplnit o topnou spirálu, která je schopna přehřát TUV na požadovanou teplotu, ale i zajistit úplný ohřev v případech, kdy provoz tepelného čerpadla není možný (příliš nízká teplota venkovního vzduchu).

Dalším možným problémem při užití tepelného čerpadla pro ohřev TUV je znečištění TUV chladivem či mazacím olejem. Tento problém lze vyřešit použitím vloženého okruhu s neškodnou teplotonosnou látkou či použitím vhodného typu výměníků.

3 Popis objektu

3.1 Obecný popis objektu

Sledovaný objekt se nachází v Praze 5 a je majetkem Bytového družstva Zázvorkova 1995-1999. Budova byla postavena v roce 1989 a tvoří jej dva oddělené celky, které mají dohromady 5 vstupů (obr. 9). Dohromady se jedná o 156 bytových prostor a řadu nebytových prostor (vchody 1998 a 1996 mají 24 bytů každý, vchody 1999,1997,1995 mají 36 bytů každý).



Obr. 9: Bytové družstvo Zázvorkova 1998-1999. Zdroj [Mapy.cz]

Budovu tvoří 12 nadzemních obytných pater a jedno suterénní podlaží. Obvodový plášť sestává ze sendvičových štítových panelů, celostěnových průčelních panelů, parapetních panelů, panelů v zapuštěných lodžiích a lehkých meziokenních vložek. Z vnitřní strany směřují do dvoru hospodářské lodžie. Střecha je plochá. V průběhu roku 2009 byla stará nevyhovující okna a balkonové dveře vyměněna za nová, která jsou vyrobeny z plastu a dobře těsní. Dále byla v roce 2011 provedena rozsáhlá rekonstrukce (obr. 10), kdy byly mj. provedeny následující úpravy:

- Zateplení obvodových stěn izolačním systémem s tloušťkou tepelného izolantu 100 mm z polystyrenu
- Zateplení stropu suterénu s tloušťkou tepelného izolantu 60 mm z minerální vlny
- Zafoukání dodatečné vrstvy skelné vaty do dvouplášťové sřechy

Do roku 2012 byl objekt zásobován teplem pro vytápění a ohřev TUV z předávací stanice tepla. Od roku 2012 byla uvedena do provozu vlastní plynová kotelna v místech bývalé předávací stanice. V plynové kotelně jsou umístěny čtyři závěsné kondenzační kotle o celkovém výkonu 394 kW, které slouží k vytápění i ohřevu TUV. Spalovací vzduch pro kotle je nasáván zvenku, spaliny z kotlů jsou odvedeny po fasádě na střechu rourou o průměru 160 mm.



Obr. 10: Současný stav sledovaného objektu. Zdroj [foto autor]

3.2 Původní řešení vzduchotechniky

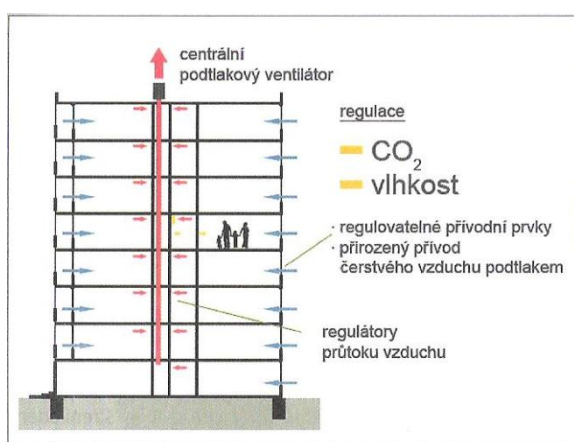
Původní systém vzduchotechniky pocházel z konce 80. let minulého století. Na střeše sledovaného objektu se nacházel u příslušných stoupaček odsávací ventilátor. Do tlumící komory, která byla pomocí s ventilátorem spojena ohebným potrubím, ústily dvě stoupačky o průměru 280 mm, jedna pro odvod vzduchu z koupelny a WC, druhá pro odvod vzduchu z digestoří.

Toto řešení mělo hned řadu nevýhod. Pokud někdo ventilátor spustil, obě stoupačky byly odvětrávány plným výkonem, ať již to bylo žádoucí, či ne. Často se také stávalo, že díky požadavkům uživatelů, ventilátor běžel v podstatě nepřetržitě (což také vedlo k velkým tepelným ztrátám) a často docházelo k poruchám. V mnoha kuchyních byly vyměněny původní digestoře za nové, pro původní řešení nevyhovující, kvůli kterým často docházelo k nežádoucímu šíření pachů.

3.3 Současné řešení vzduchotechniky

3.3.1 Popis systému ventilace

Současný systém byl zprovozněn v roce 2012. Jedná se o systém založený na centrálním podtlakovém odvětrávání (obr. 11). Původní pružinové klapky byly nahrazeny talířovými ventily, které mohou být dle přání uživatele mechanicky i elektricky ovládané. Oproti původnímu řešení přinesl tento systém inteligentní regulaci. Ventilátor na střeše (obr. 12) vytváří mírný podtlak a snaží se ho udržet vždy konstantní. Pokud uživatel či automatika otevře talířový ventil v bytovém prostoru, ventilátor se začne točit rychleji, aby udržel podtlak.



Obr. 11: Schéma současnýho systému centrálního podtlakového odvětrávání .

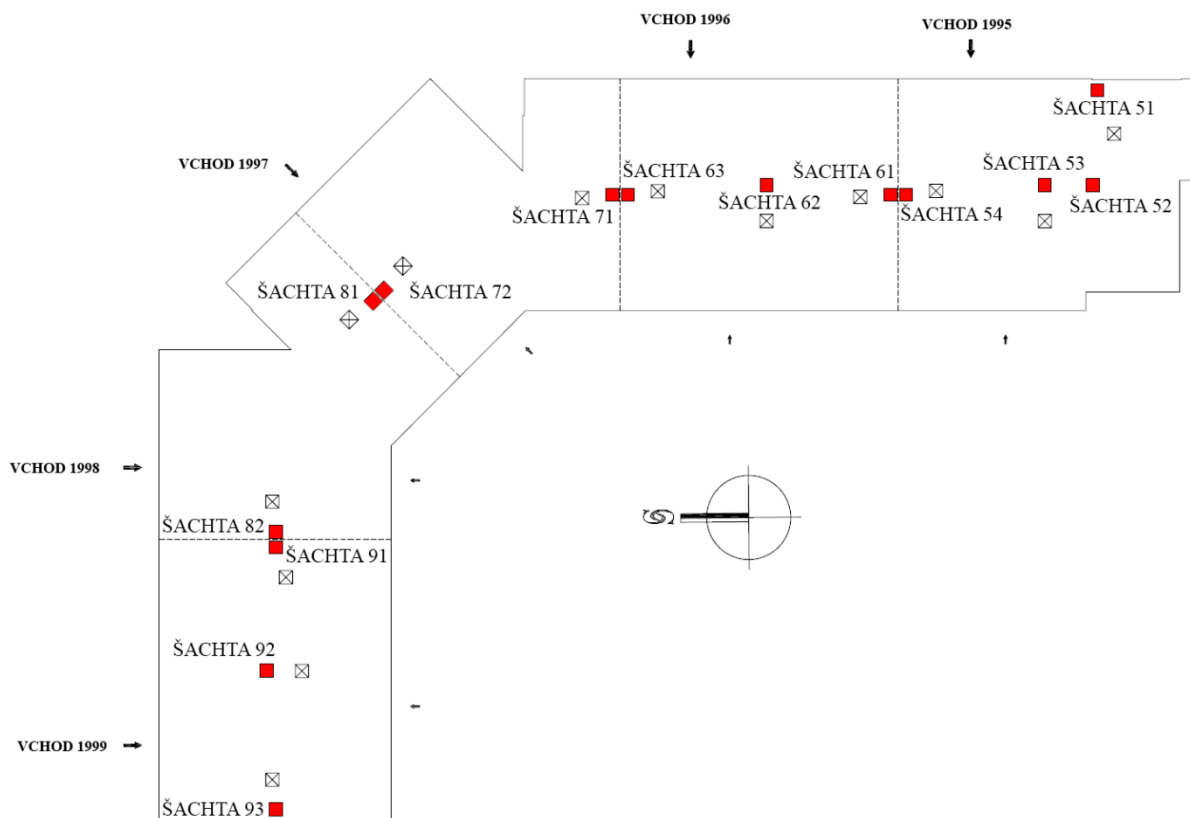
Zdroj [3]

Obr. 12: Ventilátor současnýho systému centrálního podtlakového odvětrávání.

Zdroj [foto autor]

Díky tomuto systému se podařilo eliminovat hned několik nedostatků. Nový systém je energeticky úspornější, provozně spolehlivější a již dále nedochází k mísení a šíření zápachu. Systém sám neřeší přívod čerstvého vzduchu, ten si uživatelé regulují otevíráním a zavíráním oken. Hlavní nedostatek tohoto systému spatřuji v odvětraném vzduchu, který je bez užitku odveden ven.

Na střeše sledovaného objektu se nachází celkem 16 výfuků ventilace. Jejich rozmístění na střeše ukazuje obr. 13, dimenzovaný průtok šachet ukazuje obr. 14.



Obr. 13: Rozmístění větracích šachet na střeše. Zdroj [6]

Vchod 1995-1996	Šachta 51	Šachta 52	Šachta 53	Šachta 54	Šachta 61	Šachta 62	Šachta 63
Průtok [m ³ /h]	1080	1500	2610	2580	2580	2610	2580
Vchod 1997-1999	Šachta 71	Šachta 72	Šachta 81	Šachta 82	Šachta 91	Šachta 92	Šachta 93
Průtok [m ³ /h]	2580	2580	2580	2580	2580	2610	2580

Obr. 14: Dimenzované průtoky šachet. Zdroj [6]

3.3.2 Vlastnosti větraného vzduchu

Teplota odvětrávaného vzduchu je 20°C a má relativní vlhkost 70%.¹ Celkový dimenzovaný průtok všech šachet činí 33 630 m³/h. Průtok ventilátory kolísá dle potřeby uživatelů, pro mé výpočty proto budu uvažovat poloviční hodnotu, tedy 16 815 m³/h, po převedení přibližně 4,67 m³/s.

¹ Hodnoty změřené autorem této práce.

3.4 Komín se spalinami z plynových kotlů

Dalším zdrojem tepla, který by bylo možné pro účely rekuperace využít, jsou spaliny z plynové kotelny, které vyúsťují u bývalé strojovny výtahu (obr. 15).

Teplota spalin se v závislosti na teplotě venkovního vzduchu pohybuje od 35°C do 51°C, navíc spaliny mají velmi vysokou relativní vlhkost. Na první pohled se tedy jeví jejich použití velmi výhodně. Využití spalin s sebou ale přináší technické problémy. Pro klasické tepelné čerpadlo je maximální teplota vstupního vzduchu omezena na 40°C, nicméně tento problém by se dal vyřešit smísením spalin s venkovním vzduchem. Dalším problémem je agresivita zkondenzovaných spalin, která způsobuje velice rychlou korozi kovových částí tepelného čerpadla.

Vzhledem k technickým problémům, možnému využití pouze v topné sezóně a malému průtoku spalin (průtok spalin v komínu je dimenzován na 0,06 m³/s, maximální celkový průtok vzduchu ventilací je 9,34 m³/s) nebude využití komínu se spalinami dále uvažováno.



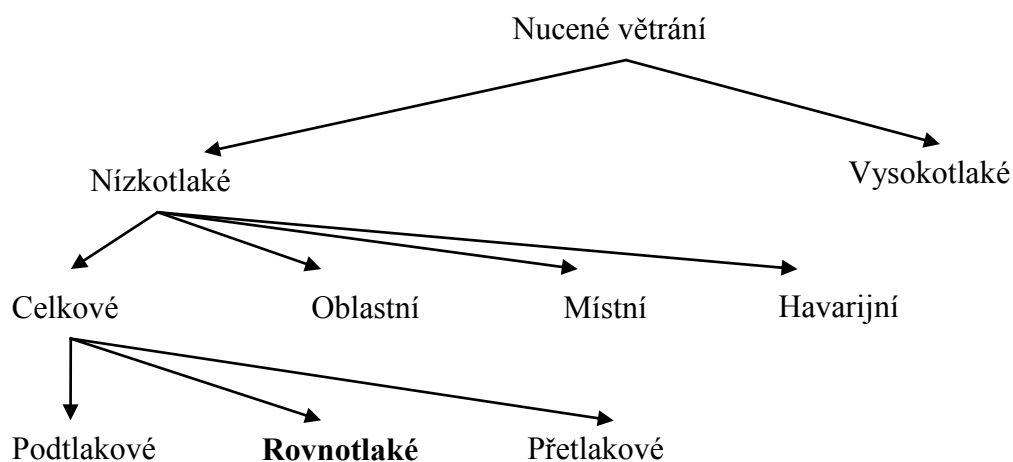
Obr. 15: Vyústění komínu se spalinami na bývalé strojovně výtahu. Zdroj [foto Ing. Vitek]

4 Navrhovaná řešení

V této kapitole budou navržena a rozvedena možná řešení rekuperace vzduchu pro sledovaný objekt.

4.1 Rovnotlaké větrání s rekuperací

Rovnotlaké větrání je jedním z typů nuceného větrání (obr. 16).



Obr. 16: Rozdělení systémů nuceného větrání. Zdroj [9]

Systém zajišťuje odvod i přívod vzduchu za pomoci ventilátorů. Pro účely větrání obytných budov se nejčastěji používá rovnotlaký systém, tedy takový, který přivede stejné množství vzduchu, jako odvedl. Nucené větrání má oproti jiným systémům hned řadu výhod.

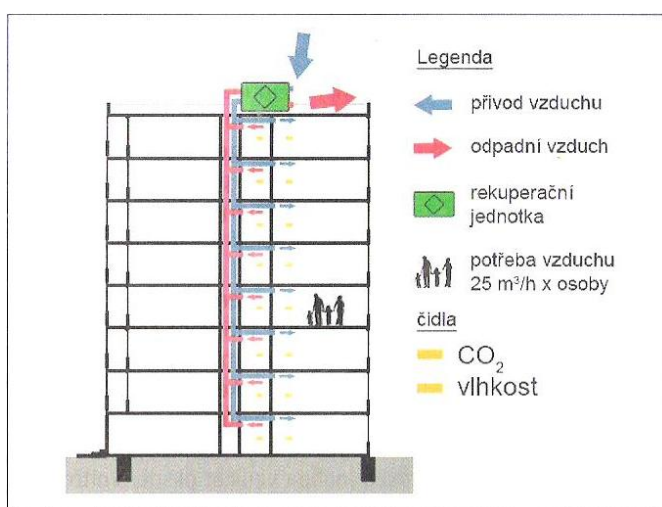
- Tento systém přímo vybízí k použití rekuperace tepla z větraného vzduchu. Díky zisku tepla z vnitřních zdrojů, jako jsou například elektrické spotřebiče a osoby, není u dobře zateplených třeba řešit další dohřev čerstvého vzduchu.
- Přiváděný čerstvý vzduch lze jednoduše upravovat – filtrovat prach či měnit jeho vlhkost.
- Oproti ručnímu větrání oknem je možné výrazně utlumit hluk, který přichází zvenčí (frekventovaná silnice, letiště, apod.)

Rovnotlaké nucené větrání lze řešit centrálně i decentrálně. Obě řešení, spolu s jejich klady a zápory, budou popsána v následujících dvou podkapitolách.

4.1.1 Centralizované rovnotlaké větrání

Centrální rovnotlaké větrání (obr. 17 a 18) využívá jedné rekuperační jednotky pro všechny byty. To s sebou oproti decentralizovanému systému přináší několik výhod.

- Rekuperační jednotka je pouze jedna, náklady na údržbu, provoz, ale i samotné pořízení jsou tedy nižší.
- Montáž nevyžaduje tak zásadní stavební úpravy.
- Hlavní zdroj hluku a vibrací je umístěn mimo obytné prostory.



Obr. 17: Schéma centralizované rekuperace rovnotlakého větrání. Zdroj [3]

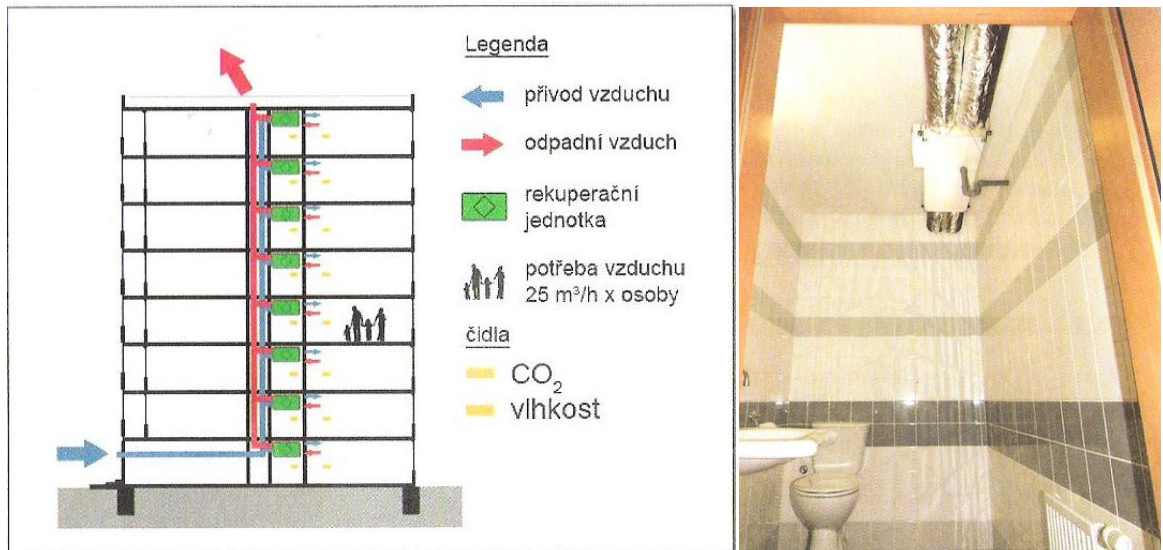
Obr. 18: Ukázka jednotky centrální rekuperace. Zdroj [14]

4.1.2 Decentralizované rovnotlaké větrání

U decentralizovaného rovnotlakého větrání (obr. 19 a obr. 20) je rekuperační jednotka umístěna přímo v obytných prostorech. Výhody jsou následující.

- Snadnější regulace.
- Systém dosahuje lepší účinnosti rekuperace.

V současné době je tento systém používanější, v budoucnu se jako perspektivnější jeví systém s centrální rekuperační jednotkou.



Obr. 19: Schéma decentralizované rekuperace větrání. Zdroj [3]

Obr. 20: Ukázka decentralizované rekuperační jednotky před zabudováním. Zdroj [3]

4.2 Tepelné čerpadlo s ohřevem TUV

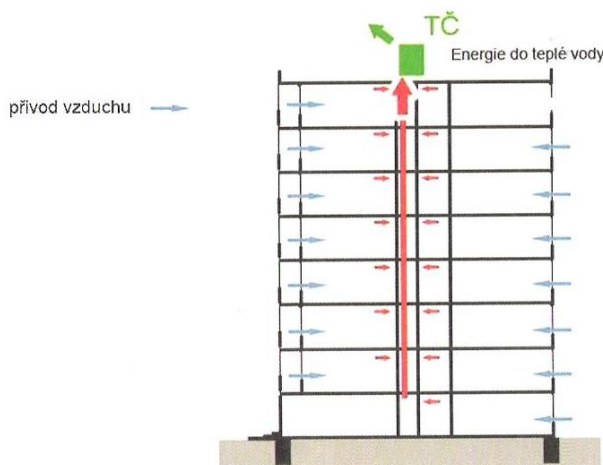
Poslední možností rekuperace tepla z větraného vzduchu je využití tepelného čerpadla pro ohřev teplé užitkové vody. Oproti systémům založených na nucené výměně vzduchu s sebou přináší řadu výhod.

- Tento systém vyžaduje minimální stavební zásahy, oproti tomu systémy založené na nucené výměně vzduchu by vyžadovaly rozsáhlé stavební úpravy (kompletní nahrazení současného systému ventilace, zřízení přívodu vzduchu).
- Fungování tohoto systému neovlivní obyvatele bytového domu. Naopak systémy s nucenou výměnou vzduchu by k efektivnímu fungování vyžadovaly jistou míru spolupráce od všech obyvatel (tyto systémy řeší i přívod čerstvého vzduchu, neotevírají se okna), hodí se tedy spíše do novostaveb.
- Pořizovací náklady tohoto systému jsou nejnižší.

Z výše uvedených důvodů jsem vybral systém s tepelným čerpadlem pro ohřev TUV, proto se již dále ve své práci budu zabývat pouze tímto systémem.

4.2.1 Obecný popis systému

Systému rekuperace energie z větraného vzduchu s využitím tepelných čerpadel ukazují obr. 21 a 22. Pro realizaci tohoto systému je nutný podtlakový systém větrání, mohl by tedy být využit systém, který je v současné době na sledovaném objektu nainstalován.



Obr. 21: Schéma tepelného čerpadla s využitím tepla z odpadního vzduchu.

Zdroj [3]

Obr. 22: Kaskáda čerpadel vzduch-voda umístěných na střeše. Zdroj [14]

Na střechu, kde vyústuje větrací šachta, se instaluje výměník tepelného čerpadla, samotné tepelné čerpadlo typu vzduch-voda lze umístit jak na střechu, tak například do suterénu. Dále se získané teplo používá k ohřevu vody v akumulacním zásobníku, který předeheřívá vodu před vstupem do bojleru.

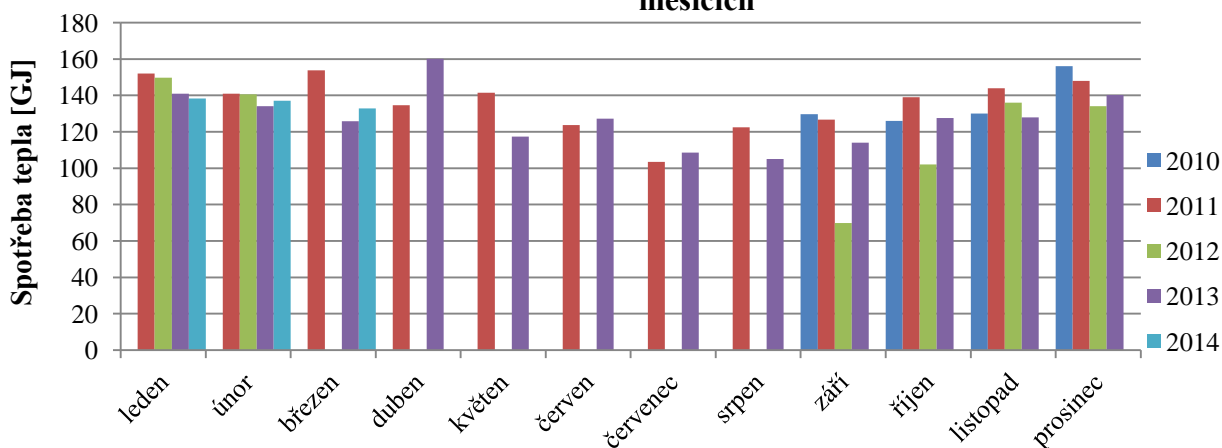
4.2.2 Konkrétní popis systému

V této podkapitole konkrétně popíši celý uvažovaný systém rekuperace vzduchu pomocí tepelného čerpadla s ohřevem TUV na sledovaný objekt Bytového družstva Zázvorkova 1995-1999.

4.2.2.1 Tepelné čerpadlo

Srdcem celého systému je samotné tepelné čerpadlo, které je také nejnáročnější na výběr. Nejdůležitějším kritériem je jeho výkon. Při výběru jsem zohlednil spotřebu tepla pro ohřev TUV ve sledovaném objektu. Tuto spotřebu ukazuje graf 1.

Spotřeba tepla na ohřev TUV sledovaného objektu v jednotlivých měsících

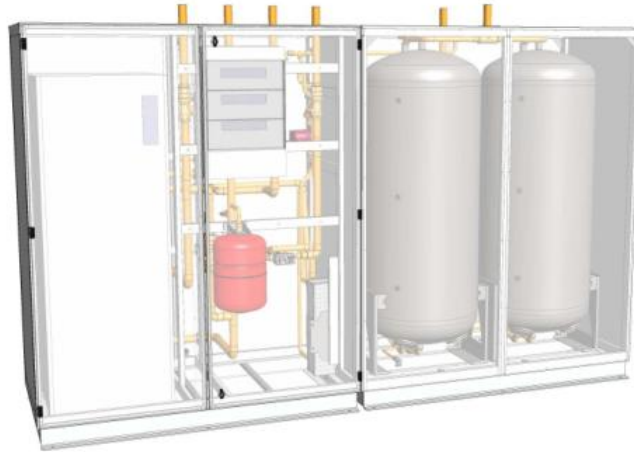


Graf 1: Spotřeba tepla na ohřev TUV sledovaného objektu v jednotlivých měsících v období let 2010 až 2014

Jak ukazuje graf 4.1, spotřeba tepla kolísá v závislosti na ročním období. V zimě se pohybuje lehce nad 150 GJ za měsíc, v létě spotřeba tepla klesá až ke 100 GJ. Toto teplo je možné dodat tepelným čerpadlem o výkonu 60 kW. Pokud by se měsíční spotřeba tepla na ohřev vody dostala nad 160 GJ, tepelné čerpadlo by již dále nebylo schopno zajistit potřebnou teplotu TUV, bylo by tedy nutné dodat chybějící teplo pomocí plynového kotle, který již ale v současné době je k bojleru připojen.

Pro potřeby ohřevu TUV tedy budu volit tepelné čerpadlo o výkonu 60 kW a to především kvůli ceně, tepelné čerpadlo o výkonu 80 kW má výrazně vyšší pořizovací náklady.

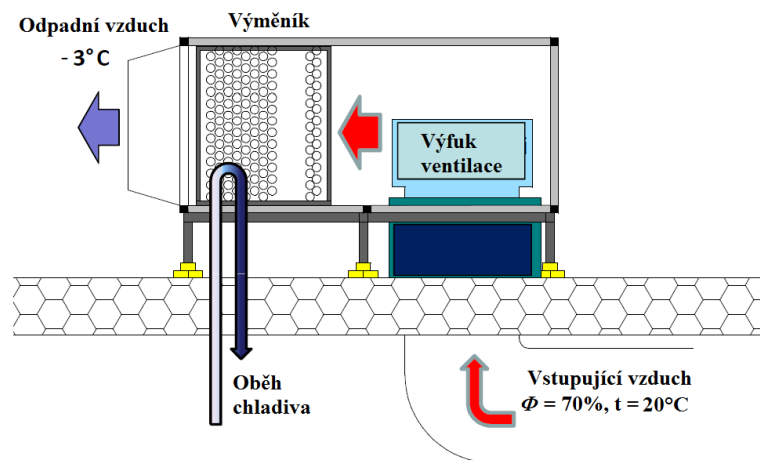
Ve svém návrhu počítám s umístěním kompletního modulu s tepelným čerpadlem a akumulací nádrží v suterénu sledovaného objektu, kde se nachází plynová kotelná. Příklad takového modulu ukazuje obr. 23. Rozměry tohoto modulu jsou 3,27 m × 0,84 m × 1,98 m.



Obr. 23: Kompletní modul s tepelným čerpadlem a akumulční nádrží. Zdroj [17]

4.2.2.2 Výměníky tepelného čerpadla

Ve svém návrhu počítám s umístěním výměníku tepla mezi odpadním vzduchem a chladivem vedle výfuku současné ventilace. Toto uspořádání ukazuje obr. 24.



Obr. 24: Znárodnění napojení výměníku tepelného čerpadla na výfuk ventilace. Zdroj [17]

V současné době již existují speciální kartáčové výměníky, které dokážou zabránit námraze, odpadní vzduch z výměníku proto může mít teplotu lehce pod bodem mrazu.

V případě navrhovaného systému není zapotřebí všech výfuků ventilace, jejich celkový průtok je přibližně $4,67 \text{ m}^3/\text{s}$, pro tepelné čerpadlo o výkonu 60 kW je udáván potřebný průtok

přibližně $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$.² Počítám proto s využitím těch výfuků, které jsou nejbližší vchodu 1997 (viz obr. 13 v podkapitole 3.3.1)

4.2.2.3 Okruh chladiva

Největší problém při montáži systému představuje okruh chladiva. Chladivo bude obíhat ze suterénu, kde se nachází tepelné čerpadlo, k tepelnému výměníku umístěnému na střeše. Trubky, kterými bude obíhat chladivo, musejí být dobře tepelně izolované. Bohužel tyto trubky není možné vést stoupačkami, kde již na ně bohužel není místo. V úvahu připadají dvě varianty. První z nich je vést trubky vnitřkem bytového domu a to prostorem mezi schodišti. Další možností je vést trubky po vnější fasádě na vnitřní straně bytového domu, jak ukazuje obr. 25.



Obr. 25: Znárodnění možného vedení okruhu chladiva po fasádě. Zdroj [Mapy.cz]

² Zdroj [17]

5 Odhad investičních a provozních výdajů pro bytový dům

5.1 Odhad investičních výdajů

Investiční výdaje navrženého systému se skládají z odhadu cen jednotlivých komponent (tepelné čerpadlo, akumulční nádrž, trubky, výměníky) a potřebných prací.

5.1.1 Odhad ceny tepelného čerpadla

Pro svůj návrh jsem se rozhodl použít systém švédské firmy Nibe, konkrétně tepelné čerpadlo NIBE F 1345-60. Jedná se o čerpadlo s výkonem 60 kW a výstupní teplotou až 65°C – plně vyhovující návrhu. Cena čerpadla i s řídicí jednotkou je 500 000 Kč bez DPH. V případě objednávky včetně montáže je sazba DPH 15%, při pouhé koupi je sazba DPH 21%.³

5.1.2 Odhad ceny akumulční nádrže

Jak již dříve bylo zmíněno, tepelné čerpadlo není špičkový zdroj energie, je tedy nutné pořízení akumulční nádrže. Pro účely návrhu se cena vhodné akumulční nádrže pohybuje v řádech desítek tisíc Kč bez DPH.

5.1.3 Odhad ceny ostatních komponentů

Bohužel zjištění konkrétní ceny ostatních komponentů, jako jsou například výměníky, nemrznoucí směs, trubky, je složité zjistit, budou proto zahrnuty jako celek do celkové ceny pořízení a instalace systému.

5.1.4 Odhad ceny konstrukčních a montážních prací

Instalace navrženého systému by vyžadovala celou řadu konstrukčních a montážních prací. Jednalo by se především o instalaci samotného tepelného čerpadla s akumulční nádrží do suterénu sledovaného objektu, instalaci výměníků na střechu, potřebné úpravy současného systému ventilace, montáž trubek okruhu chladiva na fasádu či do prostoru schodiště a další. Stejně jako v předešlém případě lze tyto výdaje jen velice špatně odhadnout, zahrnují je tedy opět až do celkové ceny pořízení a instalace systému.

³ Zdroj [19]

5.1.5 Celkový odhad investičních výdajů

S žádostí o odhad celkové ceny instalace navrženého systému jsem se obrátil na pana Jiřího Sedláčka ze společnosti NIBE ENERGY SYSTEMS CZ, který je učen jako technická podpora pro montážní a projekční firmy. Cenu celého systému i s instalací odhadl na 1 800 000 – 2 000 000 Kč bez DPH. Po započtení 15% DPH (v případě montáže firmou NIBE) k horní hranici odhadnuté ceny se dostávám k investičnímu výdaji 2 300 000 Kč.

5.2 Odhad provozních výdajů

5.2.1 Odhad roční spotřeby tepla pro ohřev TUV

Pro odhad roční ceny elektrické energie nejdříve musím spočítat celkové teplo, které tepelné čerpadlo bude muset dodat za rok. Pro sledovaný objekt mám k dispozici měsíční spotřeby tepla pro ohřev TUV od září roku 2010 do března roku 2014 (vyjma období od března 2012 do srpna 2012).⁴ Vytvořím průměr jednotlivých měsíců. Po sečtení všech takto zprůměrovaných měsíců získám celkovou průměrnou roční spotřebu tepla využitého pro ohřev TUV ve sledovaném objektu. Tento celkový roční průměr činil 1 555,56 GJ.

Toto teplo dále převedeme na kWh (vynásobíme 1×10^6 pro převod na KJ a vydělíme počtem sekund za hodinu, tedy 3600). Celkové roční teplo tedy činí 432 100 kWh.

5.2.2 Odhad ceny 1 kWh elektřiny

Pro tepelná čerpadla se používá speciální distribuční sazba.⁵ Jedná se o dvoutarifový produkt, kdy doba platnosti nízkého tarifu je minimálně 22 hodin denně. Pro vysoký tarif je celková cena 1 kWh elektřiny 2,58472 Kč s DPH, pro nízký tarif celková cena elektřiny činí 2,26933 s DPH.⁶ Pro účely zjednodušení vypočítám vážený průměr ceny elektřiny, budu počítat 22 hodin nízkého tarifu, 2 hodiny vysokého tarifu a součet těchto cen vydělím 24. Takto získaná cena za 1 kWh činí 2,2956 Kč s DPH.

5.2.3 Odhad roční spotřeby elektřiny tepelného čerpadla

Abychom zjistili, kolik tepelné čerpadlo spotřebuje elektřiny, musíme znát jeho důležitý parametr a tím je topný faktor. Jedná se o poměr mezi teplem, které tepelné čerpadlo dodá, a energií, kterou pro vyprodukování tohoto tepla čerpadlo spotřebuje. Pro účely návrhu budu

⁴ Odečty ve sledovaném objektu zpracované vedoucím práce Ing. Miroslavem Vítkem, CSc

⁵ Zdroj [18]

⁶ Ceník ČEZ FIX společnosti ČEZ, a. s. platný od 1. 1. 2014

uvažovat topný faktor 3,5.⁷ Za každou kWh, kterou tepelné čerpadlo spotřebuje, bude vyrobeno 3,5 kWh tepla. Pro odhad roční spotřeby elektřiny vydělíme celkové roční teplo (zjištěné v podkapitole 5.2.1.) topným faktorem. Odhad roční spotřeby elektřiny pak činí 123 457,14 kWh.

5.2.4 Odhad roční platby za elektřinu

Platbu za spotřebovanou elektřinu získám součtem regulované platby za dopravu elektřiny a platby za silovou elektřinu.

Výše regulované platby se vypočítá pomocí následujícího vzorce:

$$\text{Regulované platby} = 12 \times (\text{platba za jistič} + \text{pevná cena za silovou elektřinu}) \text{ Kč}$$

Po dosazení (počítám s použitím jistič 3×25A):

$$\text{Regulované platby} = 12 \times (363,00 + 60,50) = 5082 \text{ Kč}$$

Silovou elektřinu dostanu vynásobením ceny za 1 kWh elektřiny (viz podkapitola 5.2.2.) roční spotřebou elektřiny (viz podkapitola 5.2.3.). Výsledek je 283 408 Kč.

Po sečtení regulovaných plateb a platby za silovou elektřinu dostávám celkovou roční platbu ve výši 288 490 Kč.

5.2.5 Odhad ročních výdajů za údržbu

K dalším provozním výdajům patří jistě výdaje za údržbu celého systému. Jedná se například o vyčištění výměníků, kontrolu těsnosti okruhu chladiva, apod. Tyto výdaje odhaduji na částku 10 000 Kč ročně.

5.2.6 Odhad celkových ročních provozních výdajů

Odhad celkových ročních provozních výdajů získám sečtením roční platby za elektřinu a ročních výdajů za údržbu. Po sečtení se dostávám k částce 298 490 Kč.

⁷ Přibližná hodnota doporučená p. Jiřím Sedláčkem z firmy NIBE ENERGY SYSTEMS CZ

6 Doporučení pro investora

V poslední kapitole své práce zhodnotím navržený systém a případnému investorovi zhodnotím, jestli je navržený systém ekonomicky výhodný, případně za jakých podmínek by ekonomicky výhodným byl.

6.1 Životnost navrženého systému

Důležitým kritériem pro zhodnocení jakékoli investice je její životnost. V případě tepelného čerpadla se životnost uvádí dle jeho nejnamáhavějšího prvku a tím je kompresor. Většina zdrojů uvádí v případě pravidelné údržby životnost tepelného čerpadla alespoň 20 let. Pro účely zhodnocení navrženého systému budu dále používat životnost 20 let.

6.2 Roční úspora oproti ohřevu TUV plynem

Navržený systém budu posuzovat pomocí rozdílu současné roční platby, kdy se TUV ohřívá pomocí plynu, a pomocí odhadované roční platby za ohřev TUV tepelným čerpadlem. V současné době roční platby za ohřev TUV pomocí plynu činí 471 300 Kč.⁸ V podkapitole 5.2.6. bylo spočítáno, že při použití tepelného čerpadla by tato platba činila 298 490 Kč. Ročně by se uspořilo 172 810 Kč.

6.3 Výpočet NPV

Jedním z nejdůležitějších kritérií pro zhodnocení investice je NPV (česky čistá současná hodnota). Jedná se o diskontovaný součet peněžních toků za jednotlivé roky v období životnosti.

$$NPV = \sum_{n=0}^t \frac{CF_n}{(1+r)^n} \quad [Kč]$$

Kde:

- t - doba životnosti
- CF_n - hotovostní tok v jednotlivých letech
- r - diskontní míra

Doba životnosti pro navržený systém je 20 let, hotovostní tok v roce „nula“ bude cena

⁸ Kalkulace cen ve sledovaném objektu zpracované vedoucím práce Ing. Miroslavem Vítkem, CSc.

investice, hotovostní tok v ostatních letech bude uspořena částka oproti ohřevu TUV plynem, diskontní míra je 3%.⁹ Po dosažení:

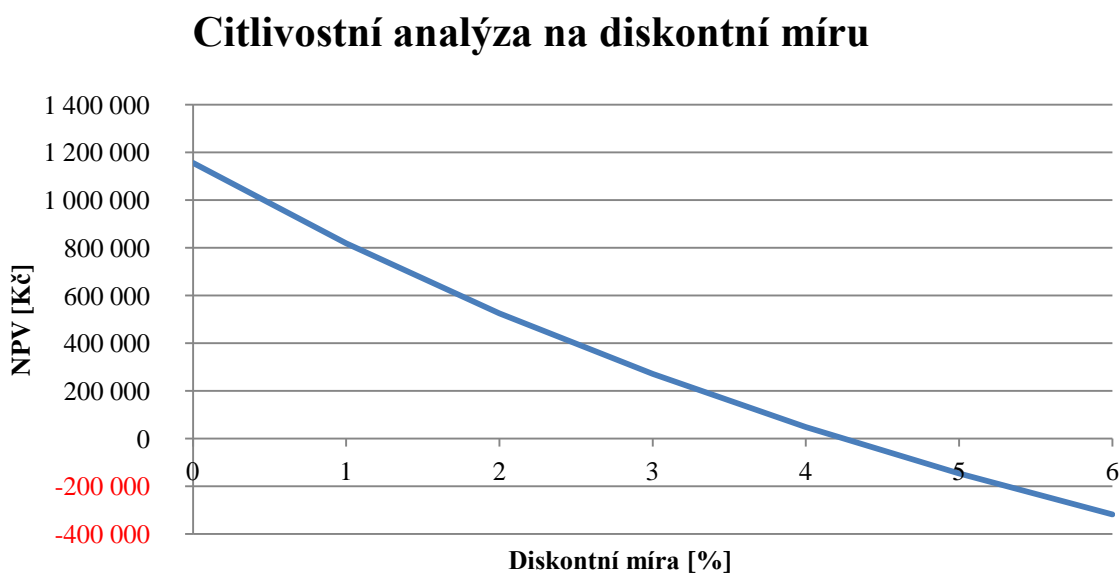
$$NPV = 270\,976,43 \text{ Kč}$$

6.4 Citlivostní analýza

V této kapitole bude vypočítána citlivostní analýza NPV, tedy jak se NPV může chovat při různých situacích, které mohou nastat.

6.4.1 Změna diskontní míry

Výsledná velikost NPV je nepřímo závislá na velikosti diskontní míry, čím vyšší je diskontní míra, tím nižší je velikost NPV.



Graf 2: Graf závislosti diskontní míry na NPV

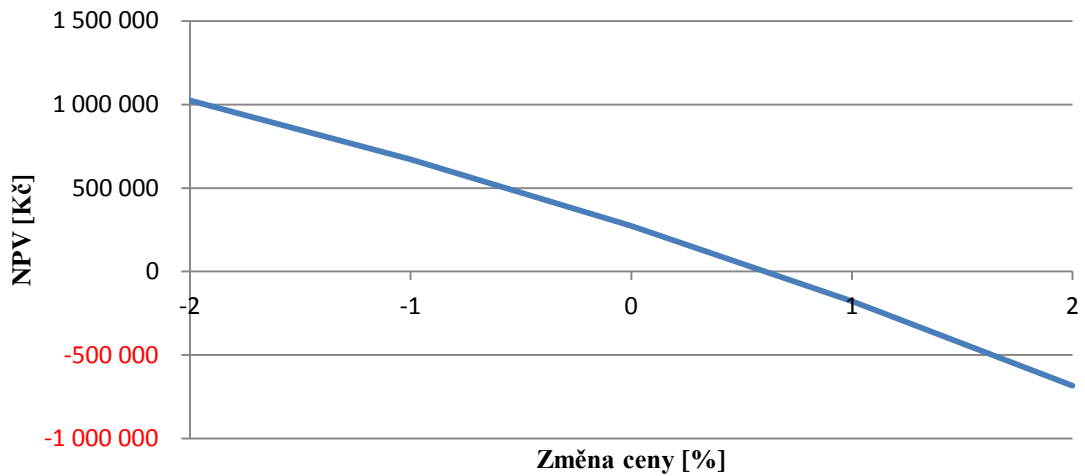
Z grafu 2 je patrné, že pokud bychom v úvahu nebrali diskontní míru, hodnota NPV by se dostala téměř k 1 200 000 Kč. Pokud by byla hodnota diskontní míry vyšší než přibližně 4,24 %, výše NPV by přešla do záporných hodnot, projekt by tedy nebyl ekonomicky výhodný. IRR (vnitřní výnosové procento) je tedy přibližně 4,24%.

6.4.2 Změna ceny elektřiny

Výše NPV navrhovaného projektu závisí na rozdílu ceny plynu a elektřiny.

⁹ Hodnota doporučená vedoucím práce Ing. Vítkem, CSc.

Citlivostní analýza pro změnu ceny elektřiny



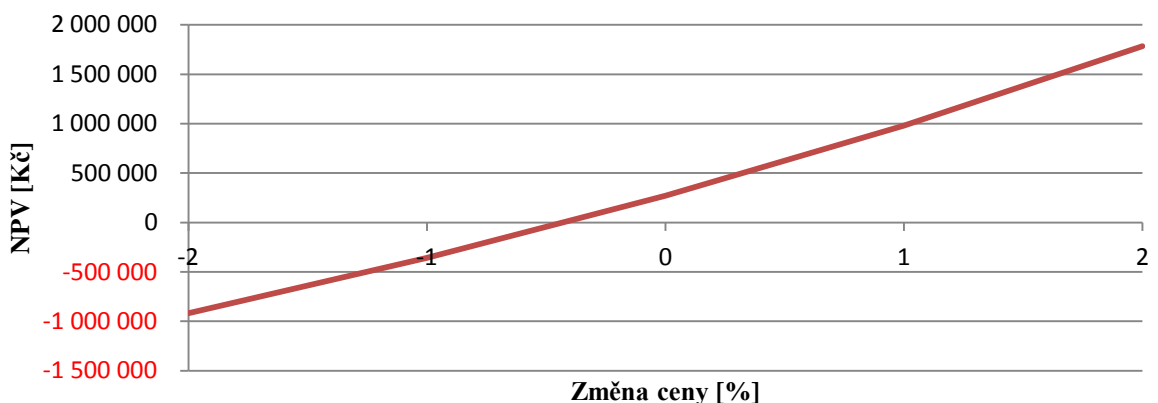
Graf 3: Graf závislosti změny ceny elektřiny na NPV

Graf 3 ukazuje, jak se změní NPV, pokud cena elektřiny meziročně poroste či bude klesat (uvažuji oproti stálé ceně plynu). Například pokud cena elektřiny bude po celou dobu životnosti klesat o 2 %, hodnota NPV bude přibližně nad 1 000 000 Kč. Zvolená diskontní míra je 3 %.

6.4.3 Změna ceny plynu

Velikost NPV navrhovaného projektu závisí na rozdílu ceny plynu a elektřiny. Čím nižší bude cena plynu, tím nižší bude hodnota NPV.

Citlivostní analýza pro změnu ceny plynu



Graf 4: Graf závislosti změny ceny plynu na NPV

Graf 4 ukazuje, jak se změní NPV, pokud cena plynu meziročně poroste či bude klesat (uvažuji oproti stálé ceně elektřiny). Například pokud cena plynu bude po celou dobu životnosti klesat o 2 %, hodnota NPV bude přibližně nad -1 000 000 Kč. Zvolená diskontní míra je 3 %.

Z citlivostní analýzy pro změnu ceny plynu je patrné, že hodnota NPV je velmi „citlivá“ na změnu ceny plynu. Pokud cena plynu bude po celou dobu životnosti oproti ceně elektřiny klesat o více než přibližně 0,5 %, výsledná hodnota NPV bude záporná.

7 Závěr

V této práci jsem se zabýval vysvětlením principu rekuperace tepla z větraného vzduchu, popsal jsem možná řešení, vybral to nejvhodnější, odhadnul jeho cenu a pro investora spočítal NPV.

Zjistil jsem, že systémy založené na rekuperaci tepla z odpadního vzduchu mohou eliminovat problémy, které se vyskytují u současně použitého řešení (centrální podtlakové odvětrávání). Pro sledovaný bytový dům v Praze Lužinách jsem vybral nejvhodnější systém. Jedná se o systém založený na tepelném čerpadlu pro ohřev teplé užitkové vody. Jeho instalace by s sebou nepřinášela žádný závažný problém.

Při odhadu ceny systému jsem vycházel z rad odborníka z oboru a současných cen elektřiny a plynu. Zjistil jsem, že pořízení systému by bylo nákladné, ale provozní výdaje by byly nižší než při použití plynu pro ohřev teplé užitkové vody.

Pomocí NPV jsem dokázal, že i přes vysoké počáteční investiční výdaje se pořízení navrženého systému při současných cenách elektřiny a plynu vyplatí. Při pohledu na vývoj ceny elektřiny a plynu na burze za poslední tři roky zjišťuji, že cena elektřiny neustále klesala, naopak cena plynu mírně stoupala. Pokud by tento trend dále pokračoval, systém by se stal ještě výhodnějším.

Citlivostní analýza prokázala, že ekonomická výhodnost navrženého systému je úzce spjata s cenou plynu. Pokud by cena plynu oproti ceně elektřiny klesala, byť jen o málo, NPV by sklouzlo do záporných hodnot a pořízení systému by nebylo výhodné.

Současný systém založený na ohřevu TUV pomocí plynu byl zprovozněn teprve v roce 2012, je tedy teprve na počátku své provozní životnosti. Ponechávám na investorovi, jestli se vyplatí věřit současnému trendu sestupu ceny elektřiny a vzestupu ceny plynu a podstoupit riziko, tedy vyměnit dobře fungující systém založený na ohřevu TUV plynem za systém s tepelným čerpadlem, který „rekuperuje“ teplo z větraného vzduchu.

8 Použité zdroje

- [1] FEIST, Dipl.Phys. Wolfgang a Jobst KLIEN. Nízkoenergetický dům: Úspory energie v bytové výstavbě budoucnosti. Ostrava: Nakladatelství HEL, 1994.
- [2] SCHILD, Peter G. Building ventilation: State of art. London: Earthscan, 2006. ISBN 1-84407-130-8.
- [3] EKOWATT. Pasivní panelák? A to myslíte vážně?. Praha: EkoWATT, 2011. ISBN 978-80-87333-07-5.
- [4] MITCHELL, John W. a James E. BRAUN. Principles of heating, ventilation and air conditioning in buildings. Danvers: John Wiley & Sons, Inc., 2013. ISBN 978-0-470-62457-9.
- [5] KAKAÇ, Sadik a Hongtan LIU. Heat exchangers: selection, rating and thermal design. Boca Raton: CRC Press, 2002. ISBN 0-8493-0902-6.
- [6] BECHYNĚ, Miroslav. Realizační dokumentace - Vzduchotechnika: Větrání kuchyní a sociálního zázemí BD Zázvorkova 1995-1999. 2012.
- [7] NIBE CZ/ DRUŽSTEVNÍ ZÁVODY DRAŽICE- STROJÍRNA S.R.O. Informace o produktu FIGHTER 640P. Benátky n. J.
- [8] ATREA S.R.O. Větrací jednotky, rekuperace tepla. 2007.
- [9] ATREA S.R.O. Katalog jednotek duplex 525: Větrací jednotky, rekuperace tepla. Jablonec n. N.
- [10] Rozložení spotřeby energie v našich domácnostech. [online]. [cit. 2013-11-15]. Dostupné z: <http://www.tscr.cz/?pg=0750&ta=2>
- [11] ECONOVEN T® - Rotary heat exchangers. [online]. [cit. 2013-11-17]. Dostupné z: <http://pdf.archiexpo.com/pdf/flakt-woods/econoven-t-rotary-heat-exchangers/51800-29131.html#>
- [12] Heat pipe technology. [online]. [cit. 2013-19-11]. Dostupné z: <http://www.thermacore.com/thermal-basics/heat-pipe-technology.aspx>
- [13] Heat pipe thermal solutions. [online]. [cit. 2013-19-11]. Dostupné z: <http://coolingtechnologies.co.uk/page12.htm>
- [14] Recovering Heat from Commercial Kitchen Exhaust. [online]. [cit. 2013-12-5]. Dostupné z: <http://www.buildinggreen.com/auth/article.cfm/2010/11/24/Recovering-Heat-from-Commercial-Kitchen-Exhaust/>
- [15] PETRÁK, Jiří a Miroslav PETRÁK. *Tepelná čerpadla*. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2014. ISBN 80-01-03126-8.

- [16] PETRÁŠ, Dušan. *Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie*. Bratislava: JAGA, 2008. ISBN 978-80-8076-069-4.
- [17] NIBE. *Exhaust air heat recovery in Finland: Naavatar-concept*.
- [18] Ceník ČEZ FIX. [online]. [cit. 2014-05-02].
Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/elektrina/cez-fix/cenik.html>
- [19] Nibe-eshop.cz: NIBE F 1345-60 tepelné čerpadlo. [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.nibe-eshop.cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda/57-tepelne-cerpadlo-nibe-f-1345-60.html>
- [20] PETRÁK, Miroslav. *Chladicí technika a tepelná čerpadla pro inteligentní budovy: Výpočtové podklady*. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2013. ISBN 978-80-01-05341-6.
- [21] Kurzy.cz. [online]. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: http://www.kurzy.cz/komodity/nr_index.asp?A=5&idk=142&od=21.5.2011&curr=CZK&default_curr=EUR&unit=&lg=1
- [22] Kurzy.cz. [online]. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: http://www.kurzy.cz/komodity/nr_index.asp?A=5&idk=43&od=21.5.2011&curr=CZK&default_curr=USD&unit=&lg=1

9 Seznam obrázků

Obr. 1:	<i>Princip rekuperace tepla. Zdroj [5].....</i>	<i>-11-</i>
Obr. 2:	<i>Rotační tepelný výměník. Zdroj [11]</i>	<i>-12-</i>
Obr. 3:	<i>Příklad správného odvedení kondenzované vody z deskového výměníku tepla. Zdroj [2]</i>	<i>-13-</i>
Obr. 4:	<i>Deskový výměník tepla typu „cross-flow“. Zdroj [8].....</i>	<i>-13-</i>
Obr. 5:	<i>Deskový výměník tepla typu „counter-flow“ Zdroj [8].....</i>	<i>-14-</i>
Obr. 6:	<i>Princip tepelné trubice. Zdroj [13].....</i>	<i>-15-</i>
Obr. 7:	<i>Výměník tepla s tepelnými trubicemi. Zdroj [2].....</i>	<i>-15-</i>
Obr. 8:	<i>Funkční schéma tepelného čerpadla vzduch-voda pro vytápění a ohřev TUV. Zdroj [7].....</i>	<i>-16-</i>
Obr. 9:	<i>Bytové družstvo Zázvorkova 1998-1999. Zdroj [Mapy.cz].....</i>	<i>-17-</i>
Obr. 10:	<i>Současný stav sledovaného objektu. Zdroj [foto autor].....</i>	<i>-18-</i>
Obr. 11:	<i>Schéma současného systému centrálního podtlakého odvětrávání. Zdroj [3]....</i>	<i>-19-</i>
Obr. 12:	<i>Ventilátor současného systému centrálního podtlakého odvětrávání. Zdroj [foto autor].....</i>	<i>-19-</i>
Obr. 13:	<i>Rozmístění větracích šachet na střeše [6].....</i>	<i>-20-</i>
Obr. 14:	<i>Dimenzované průtoky šachet [6].....</i>	<i>-20-</i>
Obr. 15:	<i>Vyústění komínu se spalinami na bývalé strojovně výtahu. Zdroj [foto Ing. Vitek].....</i>	<i>-21-</i>
Obr. 16:	<i>Rozdělení systémů nuceného větrání. Zdroj [9].....</i>	<i>-22-</i>
Obr. 17:	<i>Schéma centralizované rekuperace rovnotlakého větrání. Zdroj [3].....</i>	<i>-23-</i>
Obr. 18:	<i>Ukázka jednotky centrální rekuperace. Zdroj [14].....</i>	<i>-23-</i>
Obr. 19:	<i>Schéma decentralizované rekuperace větrání. Zdroj [3].....</i>	<i>-24-</i>
Obr. 20:	<i>Ukázka decentralizované rekuperační jednotky před zabudováním. Zdroj [3]..</i>	<i>-24-</i>
Obr. 21:	<i>Schéma tepelného čerpadla s využitím tepla z odpadního vzduchu. Zdroj [3]...-</i>	<i>-25-</i>
Obr. 22:	<i>Kaskáda čerpadel vzduch-voda umístěných na střeše. Zdroj [14].....</i>	<i>-25-</i>
Obr. 23:	<i>Kompletní modul s tepelným čerpadlem a akumulací nádrží. Zdroj [17].....</i>	<i>-27-</i>
Obr. 24:	<i>Znárodnění napojení výměníku tepelného čerpadla na výfuk ventilace Zdroj [17].....</i>	<i>-27-</i>
Obr. 25:	<i>Znárodnění možného vedení okruhu chladiva po fasádě. Zdroj [Mapy.cz].....</i>	<i>-28-</i>

10 Seznam grafů

<i>Graf 1: Spotřeba tepla na ohřev TUV sledovaného objektu v jednotlivých měsících v období let 2010 až 2014.....</i>	<i>-26-</i>
<i>Graf 2: Graf závislosti diskontní míry na NPV.....</i>	<i>-33-</i>
<i>Graf 3: Graf závislosti změny ceny elektřiny na NPV.....</i>	<i>-34-</i>
<i>Graf 4: Graf závislosti změny ceny plynu na NPV.....</i>	<i>-34-</i>