



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

# NÁVRH VZDUCHOTECHNICKÉHO ZAŘÍZENÍ S OHLEDEM NA SYSTÉM ZPĚTNÉHO ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA

DESIGN A AHU UNIT WITH RESPECT TO THE HEAT RECOVERY SYSTEM

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Otava

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2017




# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	N3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3608T001 Pozemní stavby
PRACOVISŤE	Ústav technických zařízení budov


## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	Bc. Jiří Otava
NÁZEV	Návrh vzduchotechnického zařízení s ohledem na systém zpětného získávání tepla
VEDOUcí DIPLOMOVÉ PRÁCE	doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	31. 3. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

  
.....  
doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.  
Vedoucí ústavu



  
.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

1. Aktuální legislativa ČR
2. České i zahraniční technické normy
3. Odborná literatura
4. Zdroje na internetu

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

### A. Analýza tématu, cíle a metody řešení

Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady

Cíl práce, zvolené metody řešení

Teoretické řešení v praxi – minimálně dvě varianty návrhu systému ZZT s přenosem vlhkosti a bez přenosu vlhkosti při zachování kvality přiváděného vzduchu. Výstupem budou výkresy navržených variant VZT zařízení a jednočarové rozvody vzduchu. Bude proveden technický popis výhod a nevýhod navržených variant. Výstup bude obsahovat H-X diagramy a schéma ovládání zařízení. Porovnání s požadavky EP Ecodesign.

### B. Aplikace tématu na zadané budově - koncepční řešení

Návrh technického řešení s využitím poznatků získaných v experimentu (teplotní a vlhkostní účinnost).

C1. Experimentální řešení a zpracování výsledků

Vše bude svázáno pevnou vazbou. Volné dokumenty (metadata, posudky, apod.) budou vloženy do kapsy na předních deskách, výkresy budou poskládány a uloženy jako příloha v kapse na zadní straně desek.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



.....  
doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku výměníků a má dva hlavní cíle. Prvním cílem je dlouhodobé měření entalpického výměníku, zpracování naměřených dat a porovnání výsledků s hodnotami udávanými výrobcem výměníku. Druhým cílem je zpracování variantních návrhů řešení pro dva typy výměníků vzduchotechnických jednotek vybraného provozu. Pro variantu bez přenosu vlhkosti byl zvolen křížový deskový výměník. Díky poznatkům získaným při experimentálním měření, byl pro variantu s přenosem vlhkosti vybrán entalpický deskový výměník. Zvolené varianty byly porovnány s důrazem na účinnost zpětného získávání tepla a vlhkosti i s ohledem na požadavky Ekodesignu.

## **Klíčová slova**

Ekodesign, entalpická účinnost, entalpický výměník, křížový výměník, rotační výměník, účinnost zpětného získávání tepla, zpětné získávání tepla

## **Abstract**

This diploma thesis is focused on problems of heat exchangers. There are two main objectives. The first objective is based on long-term measuring of enthalpy heat exchanger, processing of measured data and comparison of result with manufacturer's results. The second objective is design of variant solutions for two types of heat exchanger of air conditioning unit of selected shop. For variant without moisture transportation was selected cross flow exchangers. Thanks to knowledge from long-term measurement, was selected enthalpy heat exchanger for variant with moisture transportation. Chosen variants were compared with emphasis on heat and moisture exchange efficiency with requirements on Ecodesign.

## **Keywords**

Ecodesign, enthalpy exchange efficiency, enthalpy heat exchanger, cross flow exchangers, rotary heat exchanger, heat exchange efficiency, heat recovery system

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Bc. Jiří Otava *Návrh vzduchotechnického zařízení s ohledem na systém zpětného získávání tepla*. Brno, 2017. 106 s., 26 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.

## **Prohlášení o původnosti VŠKP**

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 1. 2017

---

Bc. Jiří Otava  
autor práce

## **Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP**

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 13. 1. 2017

---

Bc. Jiří Otava  
autor práce

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat zejména vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Aleši Rubinovi, Ph.D. za odbornou pomoc, trpělivost a čas, který mi věnoval. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat svým blízkým za podporu. Tato diplomová práce byla zpracována s využitím infrastruktury Centra AdMaS.

V Brně dne 13. 1. 2017

---

Bc. Jiří Otava  
autor práce

## Obsah

Úvod.....	8
A) Teoretická část .....	9
1. Úvod teoretické části .....	10
2. Přiblížení systémů zpětného získávání ve vzduchotechnice.....	12
2.1. Rozdělení systémů zpětného získávání tepla .....	13
2.2. Rekuperační systémy .....	13
2.2.1. Deskové výměník .....	14
2.2.2. Trubkové výměníky .....	16
2.2.3. Entalpický výměník .....	17
2.2.4. Lamelové výměníky s kapalinovým okruhem .....	20
2.2.5. Tepelné trubice.....	21
2.2.6. Tepelné čerpadlo .....	22
2.3. Regenerační systémy .....	23
2.3.1. Rotační výměník .....	24
2.3.2. Přepínací výměníky.....	26
3. Vlivy zpětného získávání tepla na návrh vzduchotechnické jednotky .....	27
3.1. Ekonomie a návratnost .....	27
3.2. Účinnost zpětného získávání tepla .....	27
3.2.1. Namrzání výměníků .....	28
3.2.2. Regulace.....	29
3.2.3. Těsnost výměníku a jeho konstrukční pevnost .....	29
3.2.4. Prostorové nároky .....	30
3.3. Obecný postup při návrhu systému pro zpětné získávání tepla.....	31
4. Seznámení s Ekodesignem.....	32
4.1. Vzduchotechnická zařízení.....	34
4.1.1. Požadavky Ekodesignu na účinnost ZZT při posouzení VZT jednotky	35
4.1.2. Termíny plnění .....	36
4.1.3. Očekávané dopady .....	37
4.1.4. Příklad .....	38
4.2. Časová osa .....	39
4.3. Symboly a označení.....	40
5. Národní normy ČSN .....	41
6. Závěr teoretické části .....	42
B) Aplikace tématu na zadané budově koncepční řešení.....	43
1. Analýza objektu .....	45
2. Rozdělení objektu na jednotlivé zóny a základní koncepční řešení jednotek.....	47

2.1.	VZT1 Restaurace .....	48
2.2.	VZT2 Prodejna.....	49
2.3.	VZT3 Sklad.....	50
3.	Popis variantního řešení .....	51
3.1.	Původní řešení - Rotační výměník.....	52
3.2.	Varianta V1 - Deskový výměník bez přenosu vlhkosti .....	55
3.3.	Varianta V2 - Entalpický výměník s přenosem vlhkosti .....	58
4.	Porovnání jednotlivých variant .....	61
4.1.	Potřeba energie.....	61
4.2.	Doba provozu ZZT .....	62
5.	Shrnutí variantního návrhu.....	63
C)	Experimentální měření a zpracování výsledků .....	65
1.	Úvod do experimentálního měření.....	66
2.	Dislokace měření.....	66
3.	Popis fyzikálního modelu laboratoře.....	67
4.	Popis větrací jednotky .....	68
5.	Princip mechanismu přenosu vzdušné vlhkosti .....	69
6.	Popis měření entalpického výměníku Lossnay .....	70
6.1.	Příprava měření.....	70
6.2.	Měřicí přístroje.....	71
6.2.1.	Dataloggery .....	71
6.2.2.	Meteostanice TUBO .....	72
6.2.3.	Balometr .....	74
6.3.	Rozmístění čidel.....	75
6.4.	Měření průtoku.....	76
7.	Vyhodnocení měření entalpického výměníku.....	77
7.1.	Výpočet účinnosti .....	77
7.2.	Boxplot.....	78
7.3.	Histogramy četností .....	80
7.3.1.	Histogram teplotní účinnosti .....	80
7.3.1.	Histogram vlhkostní účinnosti.....	81
7.3.2.	Histogram entalpické účinnosti .....	82
7.4.	Denní průběhy pro typické dny.....	83
7.4.1.	Denní průběhy pro typický zimní den Průtok 1 .....	83
7.4.2.	Denní průběhy pro typický zimní den Průtok 2 .....	84
7.4.3.	Denní průběhy pro typický letní den Průtok 1 .....	85
7.4.4.	Denní průběhy pro typický letní den Průtok 2 .....	86

7.5. Porovnání výrobcem udávané účinnosti získané pomocí MITSUBISHI ELECTRIC Lossnay s měřenou hodnotou účinnosti.....	87
8. Dílčí experimenty .....	90
8.1. Experiment I. – Sušení prádla .....	90
8.2. Experiment II. – Varná konvice .....	93
9. Závěrečné zhodnocení experimentálního měření .....	96
Závěr .....	97
Seznam použité literatury, zkratk a označení, obrázků, grafů a tabulek.....	98
1. Seznam použité literatury .....	98
Bibliografie .....	98
1. Seznam použitých zkratk a označení .....	103
2. Seznam obrázků.....	103
3. Seznam grafů .....	105
4. Seznam tabulek .....	106
Přílohy.....	107

## Úvod

Ve vyspělých zemích tráví obyvatelé čím dál více času uzavření uvnitř budov, ať už se jedná o zaměstnání, bydlení či volnočasové aktivity. Kvalita vnitřního prostředí tedy v moderní společnosti hraje významnou roli. Touto problematikou se zabývá obor vzduchotechniky, který je jedním z pododvětví stavebního oboru technického zařízení budov.

V průmyslu i občanské vybavenosti se již běžně setkáváme se vzduchotechnikou. Značný význam má však vzduchotechnika i pro rezidenční bydlení, u kterého neustále vzrůstají požadavky na komfortní prostředí. Tepelné ztráty nuceným větráním jsou obvykle vyšší, než běžné tepelné ztráty infilrací. V důsledku vývoje moderních stavebních materiálů a technologií, se zvýšila těsnost obálky budovy u pasivních a nízkoenergetických domů, ale i rekonstruovaných objektů. Tyto stavební úpravy mají dobrou návratnost, ovšem bez použití nuceného větrání za pomoci vzduchotechnické jednotky, pouze spoří finance na vytápění. Paradoxně ve výsledku zhoršují kvalitu vnitřního mikroklíma, kdy se podílí na zvyšování koncentrace oxidu uhličitého absencí infiltrace netěsnostmi a tvorbě plísní od zvýšené relativní vlhkosti. [1]

V případě zpětného získávání tepla se tedy jedná o nutné opatření pro zajištění zdravého mikroklíma, při kterém se využívá tepelný potenciál odváděného vzduchu pro efektivní úpravu přiváděného vzduchu, který by jinak nebyl využit a bylo by třeba ho pokrýt dodáním energie. [2]

Tématem této práce tedy jsou především výměníky zpětného získávání tepla, které jsou v současnosti velmi populární a mají ve vzduchotechnice své nezastupitelné místo.

Práce je členěna do tří částí.

První část této práce si klade za cíl seznámit s dostupnými druhy vzduchotechnických zařízení pro zpětné získávání tepla a jejich funkcí, které jsou v dnešní době často spojovány s úsporou energií. Dále přibližuje také zákonné požadavky Ekodesignu, mající zásadní vliv na návrh zařízení a jeho provoz.

Druhá část přináší variantní řešení pro provoz zadaný pro budovu z bakalářské práce. Návrh dvou různých koncepcí spojených s aplikací poznatků z experimentálního měření, včetně odpovídajícího porovnání.

Třetí část se zaměřuje na popis experimentálního měření entalpického výměníku, zjištění jeho provozních parametrů a vyhodnocení reálných dat, naměřených při dlouhodobém měření.



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

### A) Teoretická část

#### DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

#### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Otava

#### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2017

## 1. Úvod teoretické části

Cílem této kapitoly je seznámit s dvojicí spolu souvisejících témat, které značně ovlivňují proces návrhu vzduchotechnického zařízení, a to s dostupnými druhy zpětného získávání tepla (dále jen ZZT) a s Ekodesignem. Obě tato témata spolu souvisí a navzájem se ovlivňují.

Začátek teoretické části práce je zaměřen na zpětné získávání tepla. Použití ZZT se dříve uplatňovalo především v průmyslovém odvětví, kde dochází ke spotřebě velkého množství energetických zdrojů, i přes opatrné zacházení. Snaha proto byla celý proces zefektivnit, například využitím spalin k předehřevu přiváděného vzduchu.

Pokud bychom se zaměřili na vzduchotechniku obstarávající vnitřní pohodu uvnitř staveb, jejíž počátky sahají do starověku a středověku, kdy v období starověkého Říma. Využíváno bylo průduchů, které horkým vzduchem ohřívaly vody v lázních nebo pomocí kanálů ve zdech a podlaze se vyhřívaly stěny. V novodobé historii se používaly technické soustavy v budovách pro zvýšení komfortu při užívání staveb. Uplatňovaly se především pro ventilaci, ohřev či adiabatické chlazení, jako například u nadčasově koncipované funkcionalistické vile Tugendhat, u které ovšem se zpětným získáváním tepla zatím nesetkáváme.



Obr. 1 Funkcionalistické vila Tugendhat (převzato z [3])

Využití odpadního vzduchu k úpravě přiváděného vzduchu je spjato s nástupem trubkového a deskového výměníků. S rozšířením vzduchotechniky (dále jen VZT) do občanských i rezidenčních staveb a příchodem nových technologií s různými specifiky se stala volba ZZT obtížnější. Těmto úskalím se věnuje též část tohoto oddílu (viz kapitola 3). Při minimalizaci energetické náročnosti stavby je kladen důraz nejen na úsporu primárních zdrojů, ale také na ekonomičnost provozu a zejména u výměníků na jejich návratnost.

Právní předpisy a jejich dodržování s návrhem vzduchotechniky se ZZT také nedílně souvisí. Dodržování právních předpisů je nezbytné pro trvalé udržení vývoje ve společnosti a prevenci znečištění životního prostředí, což je samo o sobě motivace pro inovaci výrobků. Požadavky s tím spojené přinášejí i určitý stupeň byrokracie, který sebou nese některé výhody, ale také značné nevýhody.

Stěžejním posláním Ekodesignu je stanovení vývojového směru pro fungování norem a směrnic ve správné časové posloupnosti. Dané požadavky je nutno splnit z hlediska efektivnosti u výrobků charakteristických pro technické zařízení budov. Jednotlivé členské státy a firmy bude nutné formovat, jak z hlediska právních předpisů, tak i akceptování některých směrnic a zákonů EU. Samotné dodržování zákonů je sice přínosem, avšak nesmí být jediným důvodem ekologických aktivit. [4]

Vliv lidské činnosti zatím není ani zdaleka pochopen v důsledku globálních změn, i přesto jsou zde snahy o udržení přirozeného klimatu. Evropská unie se například zavázala v rámci boje proti globálnímu oteplování, dosáhnout vytyčených cílů 20-20-20:

- snížit emise skleníkových plynů nejméně o 20 % do roku 2020 v porovnání s rokem 1990,
- zvýšit energetickou účinnost vybraných výrobků o 20 % do roku 2020,
- zvýšit podíl energie získané z obnovitelných zdrojů energie (OZE) na 20 % do roku 2020. [5]



Obr. 2 Cíle programu 20-20-20 (převzato z [6])

Hlavním právním předpisem pro vznik těchto požadavků souvisejících se zavedením systému obchodování s emisemi je směrnice 2003/87/ES, na kterou navázala směrnice Evropského parlamentu a Rady 2005/32/ES s požadavky na Ekodesign. [7]

## 2. Přiblížení systémů zpětného získávání ve vzduchotechnice

Stejně jako u moderních spalovacích agregátů automobilů, tak i u moderních nízkoenergetických budov se využívá potenciál skrytý v odpadních plynech. Skrytý potenciál je uplatněn pro zefektivnění provozu, omezení produkce CO<sub>2</sub> a snížení provozních nákladů. Ve výfukových plynech pístových spalovacích motorů vzniká velké množství odpadní energie, která by bez použití turbodmychadla nebyla nijak využita. Stejně tak při větrání se značné množství odpadní energie odvádí z objektu do venkovního prostředí a bez použití ZZT by nebyla využita. Lze tedy nalézt vzdálenou analogii mezi zpětným získáváním tepla a přeplňováním motorů, kdy se využívá energie obsažená ve výfukových plynech pro úpravu nasávaného vzduchu. Na rozdíl od automobilů, u kterých se přenáší skrze kinematické procesy tlak vzduchu, je ve vzduchotechnice požadováno přenesení tepelné energie a vlhkosti. Stejně, jako si těžko dnes můžeme představit moderní automobil bez přeplňování, si jen obtížně můžeme představit moderní nízkoenergetickou stavbu bez vzduchotechnického zařízení se zpětným získáváním tepla.

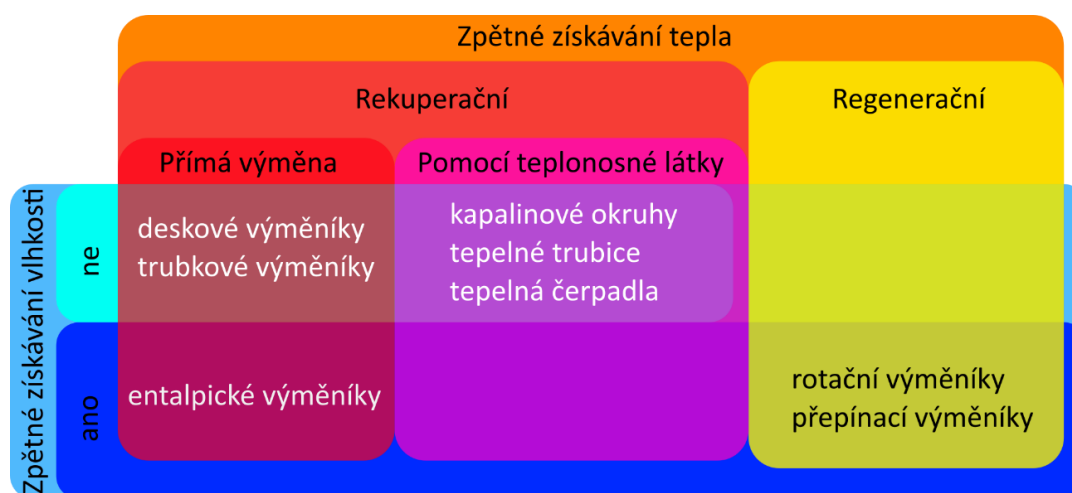
Pokud bychom si kladli otázku, jak co nejpřesněji definovat zpětné získávání tepla, našli bychom několik definic. Jednou z nich by mohla být například i tato: "Zpětné získávání tepla je opatření pro využití entalpie objemového proudění opouštějícího budovu nebo proces." [8] Jedná se tedy o cílené využití energie obsažené v odpadním vzduchu odváděném z objektu k úpravě přiváděného vzduchu do užívaného prostoru. [9] Převážně se jedná o využití citelného tepla u rekuperačních výměníků, ale také vázaného tepla spojeného s přenosem vlhkosti u regeneračních výměníků. (viz rozdělení Obr. 3)

Základní jevy, na kterých funguje výměna vzduchu u proudění ve výměníku, jsou proudění, vedení, kondenzace nebo absorpce. Dochází k nestacionárnímu sdílení tepelné energie nebo látek z proudu s vyšším potenciálem do proudu s nižším potenciálem. Při řešení problematiky VZT činí nesnáze relativně malý rozdíl teplot mezi přiváděným a odváděným vzduchem, proměnnost teplotního a časového režimu při provozu VZT, nízký součinitel přestupu tepla ze vzduchu a zvýšení tlakových ztrát těchto zařízení. [2]

Návrh je komplexní problematika zahrnující fyzikální, ekonomické i technické řešení, při kterém vždy vycházíme z parametrů mikroklima obsluhovaného provozu, okrajových podmínek, intervalu provozu zařízení a případně dalších technických požadavků. Výměníky se též používají v čistých provozech výrobních závodů na mikro obvody, kde se můžeme setkat s požadavkem zachování kvality přiváděného vzduchu, kdy je nezbytné zajistit určitou úroveň čistoty z mikrobiálního nebo toxického hlediska. Například nemocniční pokoje s aseptickým provozem vyžadují absolutní oddělení přiváděného a odváděného vzduchu z důvodu kontaminace vzduchu bakteriemi, viry a dalšími nežádoucími látkami. Pro hromadné stravovací zařízení s kuchyňským provozem jsou také kladeny vysoké nároky nejen na zamezení přenosu agencií do přiváděného vzduchu, ale také usazování mastnoty na stěnách vzduchotechniky.

## 2.1. Rozdělení systémů zpětného získávání tepla

Existuje mnoho kritérií, díky nimž můžeme kategorizovat jednotlivé způsoby zpětného získávání tepla, nejen dle konstrukce nebo mechanismu předání energie, ale i účinnosti. Základní dělení výměníků na rekuperační a regenerační můžeme také zpřesnit zahrnutím vlivu na vnitřní mikroklima na systémy zpětného získávání tepla s přenosem a bez přenosu vlhkosti. Rekuperační výměníky lze dále rozlišit na ty, u kterých se přenáší tepelná energie přímo nebo pomocí teplotonosné látky. [10]



Obr. 3 Dělení systémů zpětného získávání tepla

Při zohlednění použitelnosti v čistých prostorech můžeme dělit na systémy, které mají oddělené a neoddělené proudy, u kterých část odváděného vzduchu infiltruje přiváděný vzduch. [8] Bylo by též možné členit výměníky dle účinnosti, dle splnění podmínek Ekodesignu, které z principu některé druhy s nízkou účinností nesplňují. Dále by se dala rozčlenit na zařízení aktivní, která mohou teoreticky dosáhnout termické účinnosti vyšší než 100 % a pasivní zařízení. Do kategorie aktivních lze zařadit pouze tepelná čerpadla, která využívají další zdroj energie.

## 2.2. Rekuperační systémy

U rekuperačního systému dochází k přenosu citelné tepelné energie mezi odpadním vzduchem a přiváděným vzduchem přes pevnou stěnu výměníku. Zde nedochází k přenosu hmoty mezi odpadním a přiváděným vzduchem, pokud není nijak poškozen. Proto se obecně tyto výměníky hodí i pro provoz se znečištěným odpadním vzduchem nebo v případech, kdy jsou kladeny požadavky na vyšší čistotu prostředí. [9]

Jsou dvě základní konstrukce přímých rekuperátorů, a to deskové a trubkové. Každá varianta se hodí pro jiné účely, odpovídající jejich konstrukčním vlastnostem. Podskupinou deskových výměníků jsou takzvané entalpické výměníky, které jsou vyrobeny ze speciálních materiálů umožňujících navíc přenos vlhkosti, čímž se z této kategorie značně vymykají. Mezi rekuperační výměníky řadíme i ty, které k přenosu

energie využívají jako další mezistupeň teplotnosné látky. Zařazeny jsou zde proto, že mají vždy v přívodním nebo odvodním potrubí přímé výměníky, z kterých se předává energie teplotnosné látce, kterou může být voda, nemrznoucí směs či chladivo. Jsou známy tři rozdílné koncepce: kapalinový okruh, tepelné trubice a tepelná čerpadla.

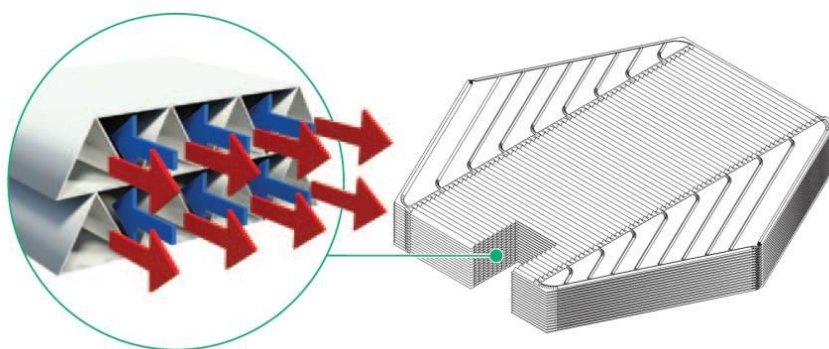
### 2.2.1. Deskové výměník

Deskové rekuperační výměníky patří mezi nejrozšířenější skupinu. Vzhledem k jejich jednoduché konstrukci najdou uplatnění v širokém spektru menších domácích a velkých průmyslových jednotkách, ale i ve zdravotnictví.

Konstrukční princip deskových výměníků spočívá ve střídání proudu teplého a chladného vzduchu, jež jsou odděleny stěnou, tvořící teplosměnnou plochou, skrze níž dochází k předání tepelné energie pomocí fyzikálních jevů (prostup, přestup a vedení). Teplosměnná plocha je tvořena nejčastěji deskou z dobře tepelně vodivého materiálu, jako například nerez, ocel, hliník nebo plast. Desky jsou mezi sebou mechanicky spojeny pomocí lepeného, vařeného nebo pájeného spoje tak, aby tvořily kanálky, kterými protéká čerstvý přívodní a odváděný odpadní vzduch.

Účinnost deskových výměníků lze zlepšit zvyšováním součinitele přestupu tepla mezi vzduchem a lamelou výměníku tak, že zvýšíme průtok vzduchu, kdy dojde ke zvýšení rychlosti proudění nebo také zvýšením drsností povrchu desek. Zvýšením rychlosti a drsnosti se nám také zvýší provozní náklady spojené se zvýšením tlakové ztráty a ZZT bude hlučnější. [8]

Od velikosti kanálků se odvíjí výsledná teplosměnná plocha, na které také závisí účinnost výměníku. Velikost teplosměnné plochy lze ovlivnit jejím profilováním, kdy pro zlepšení výsledného efektu je možné provést oboustranné žebrovaní pomocí distančních vložek.

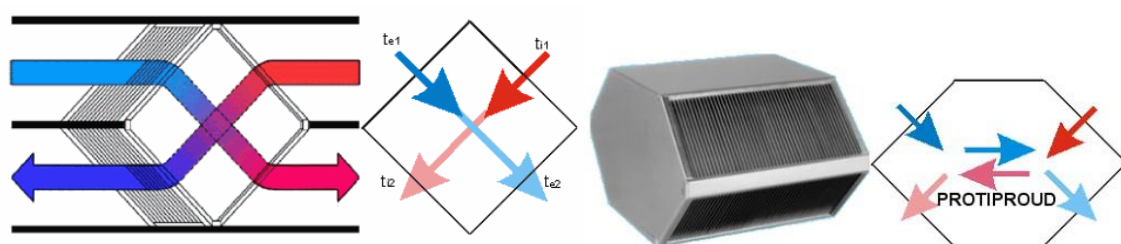


Obr. 4 Průtok protiproudým výměníkem (převzato z [11])

S rostoucí teplosměnnou plochou však stoupá finanční náročnost výměníku na jeho výrobu a také tlaková ztráta, která bude muset být překonána ventilátorem. Profil desek a šířka průduchů se odvíjí také od předpokládaného znečištění provozu a možnosti jeho čištění. [8] U drobných kanálků, řádově kolem tří milimetrů, však dochází ke snížení rychlosti a laminárnímu proudění. Ovšem ve výsledku může efekt zvětšené teplosměnné

plochy a nižší rychlosti převážit efekt vyššího součinitele přestupu tepla. Drobné kanálky jsou však obtížně čistitelné. [2]

Na účinnost má vliv i způsob protékání. U křížových deskových rekuperátorů, které mají kompaktní tvar čtverce s kolmými směry proudů, se účinnost pohybuje mezi 40 - 80 %. Pro dosažení vyšší účinnosti je možné zapojení dvou křížových výměníků za sebe. Ještě vyšších účinností je možné dosáhnout u protiproudých šestihranných výměníků, které vzhledem k složitějšímu tvaru kanálků umožňují dosáhnout výborných účinností přesahujících 90 %. U protiproudých a násobných výměníků se však výrazně zvyšují tlakové ztráty, které v závislosti na délce rostou. Dlouhé protiproudé výměníky s velkou tlakovou ztrátou se nepoužívají u větších centrálních jednotek, pro které je čtyřúhelníková konstrukce vhodnější. [8]



Obr. 5 Čtyřúhelníkový křížový výměník a šestihranný protiproudý výměník (převzato z [8])

Samotné deskové výměníky nemají žádné mechanické pohyblivé části, které by vyžadovaly další externí energii. Deskové výměníky se také osazují by-passem, který je nutný pro některá období roku, například v letním období, kdy je teplota venkovního vzduchu nižší, než požadovaná teplota v interiéru. V tomto případě se pomocí klapky uzavírá nebo přepíná směr proudění vzduchu výměníkem nebo by-passem, čímž se sníží nežádoucí tlaková ztráta a nedochází k přenosu tepla do přívodního vzduchu. [8] Při provozu může také dojít na straně odváděného vzduchu ke kondenzaci, a proto se výměníky opatřují sběrnou kondenzační vaničkou. [2]

Při výrazně rozdílném tlaku přiváděného a odváděného vzduchu může diferenční tlak způsobit pronikání vzduchu netěsnostmi, pokud je velký rozdíl tlaků, může dojít i k poškození výměníku. [8]

Pro správnou funkčnost a dosažení požadovaných účinností je také důležité pravidelné čištění. Nevýhoda plastových výměníků je, že může docházet ke vzniku elektrostatického náboje při průchodu vzduchu a zachycování prachu. Pro chemické provozy se vyrábějí odolné skleněné teplosměnné plochy. [2]

### 2.2.2. Trubkové výměníky

Trubkové rekuperační výměníky ZZT jsou svým principem podobné deskovým výměníkům, jsou u nich hodnoceny podobné parametry, avšak teplosměnnou plochou je svazek trubíc, kterými protéká odváděný vzduch a z vnější strany je svazek obtékán vzduchem přiváděným.

Primární výhodou tohoto výměníku je jeho dobrá čistitelnost, protože trubice na rozdíl od desek výměníku mohou být vyrobeny i z méně tradičních materiálů než kovových (ocel, nerez, měď či hliník), jako je například sklo nebo plast. V praxi se trubkové výměníky ZZT nejčastěji používají v technologických provozech a chemickém průmyslu, kde je dobrá čistitelnost a mechanická odolnost důležitá pro provoz, který počítá se značně znečištěným vzduchem částicemi, spalinami či jinými látkami, které zanáší rychleji výměníky.

Vzhledem k menší teplosměnné ploše, oproti deskovým výměníkům, dosahují nižších účinností, které bývají pouze 30 - 50 %. [12] Proto trubkové výměníky nesplní požadavky na účinnost zpětného získávání tepla podmíněné nařízením komise číslo 1253/2014 ze dne 7. července 2014 – Ekodesign. Nadále však bude možné používat tyto výměníky zejména pro specifické účely, které jsou z podmínek Ekodesignu vyňaty.

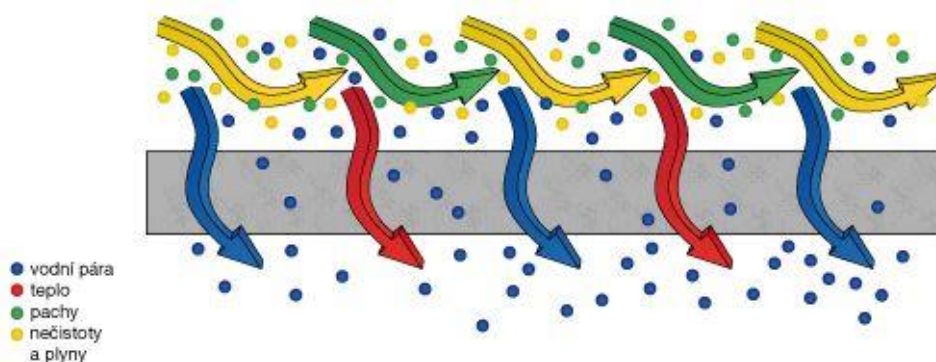


Obr. 6 Trubkový výměník (převzato z [13])

### 2.2.3. Entalpický výměník

Jedná se v podstatě o speciální druh deskového výměníku, který se odlišuje nejen přenosem tepla, ale také přenosem vlhkosti, což ostatní přímé výměníky nedokáží.

Běžné deskové výměníky jsou nejčastěji vyráběny z kovových materiálů, které mají dobré mechanické vlastnosti, ale neumožňují přenos vlhkosti, protože materiály desek jsou nepropustné. Entalpické výměníky jsou vyráběny z pórovitých materiálů, jako papír nebo speciální umělé hmoty. [8] Díky membránové konstrukci, dovolí přenos molekul vody, avšak zamezí přenosu nežádoucích plynů a agencií, které mají větší kinematický rozměr molekul než molekula vodní páry. Přenos vlhkosti se řídí zákonu difúze, kdy z místa s vyšší vlhkostí se předává do místa s nižší vlhkostí. [14] Přesnější popis mechanismu výměny měřeného Lossnay jádra je popsán v experimentální části C (viz kapitola 5). Výhodou těchto výměníků je, že nepotřebují odvod kondenzátu.



Obr. 7 Přenosu přes membránu entalpického výměníku (převzato z [15])

Entalpické výměníky jinak zvané membránové dosahují výborných teplotních účinností dosahujících i více než 90 %. Tyto výměníky nebudou mít potíže ani se splněním přísnějších podmínek druhého stupně Ekodesignu platného od 1. ledna 2018. Vyrábějí se v provedení křížové čtvercovém a protiproudém šestistranném. Tyto výměníky dokáží dobře řešit problémy v zimním období, kdy relativní vlhkost v exteriéru klesá pod 20 % a klesá vlhkost přiváděného vzduchu, dokáží entalpické výměníky dosáhnout vlhkostní účinnosti pohybující se v rozmezí 60 – 70 %. Další výhodou je, že tyto výměníky dokáží na většině území České Republiky pracovat bez nutnosti protimrazové ochrany na plný výkon až do  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [16] Entalpická účinnost zahrnující přenos citelné, tak i vázané energie ve vlhkosti dosahuje více než 80 %.

Nevhodné je umístit výměník tam, kde dochází ke zvýšenému výskytu prašnosti, kouření a mastnoty. Tyto vlivy urychlují zanášení, které snižuje účinnost výměníku a je třeba jej následně vyčistit nebo vyměnit.

U výměníků jejichž teplosměnné stěny jsou vyrobeny ze speciálně upraveného papíru pro přenos vlhkosti, může dojít k poškození při styku s nadměrnou vlhkostí. Při provozu nebo čištění, je nutné se vyvarovat kontaktu s vodou a vlhkostí nad 80 %. Jinak tomu je v případě použití entalpického výměníku společnosti Zehnder, kterému díky inovativní konstrukci s polymerovou membránou ani styk s vodou nezpůsobí újmu a je možné ho


dokonce propláchnout nebo i ponořit do vody při čištění a tím prodloužit jeho životnost bez snížení účinnosti. Tyto výměníky používají speciální antibakteriální polymerovou membránu, která zabraňuje možnosti prostupu odváděných pachů, mikrobů a škodlivin a zachovává vysoce hygienické prostředí. [16]




Obr. 8 Čištění entalpických výměníků s polymerovou membránou (převzato z [17] [16])

## Rozhovor se zástupcem společnosti Mitsubishi Electric Europe Ing. Janem Filipem


Měl bych několik technických i praktických dotazů týkajících se právě větracích jednotek Lossnay. Bylo by možné na ně odpovědět, abych se dozvěděl něco nového a ujistil se v tom, co jsem se již o výměnících dozvěděl?

 *Určitě, jsem rád za váš zájem o naše výrobky.*


Jaké jsou výhody entalpického výměníku oproti konkurenci?

 *Jedinečná a tenká papírová struktura křížového tepelného výměníku zajišťuje efektivní výměnu citelného a vázaného tepla. Toto teplo poté předává přes teplosměnnou plochu přiváděnému vzduchu. Umožňuje zvlhčování nebo odvlhčování přiváděného čerstvého vzduchu do místnosti.*

Pro jaké provozy a použití je entalpický výměník především vhodný? V jakých objektech se nejčastěji setkáváte s jeho uplatněním?

 *Od spuštění své první generace v roce 1970 byl Lossnay vyvíjen vždy s ohledem na potřeby úprav vzduchu dané dobou. Tato technologie se používá v široké škále aplikací a jednotky si našly svá uplatnění v rodinných a bytových domech, v kancelářských budovách, nemocnicích, školách, atd. Větrací jednotky typu Lossnay jsou vhodné pro použití ve všech moderních budovách, kde zajistí příjemné mikroklima vhodné jak pro bydlení, tak pro pracovní prostředí.*

Jaká je náročnost instalace vzduchotechnických systému a klimatizace?

 *Instalace je obdobná jako u jiných zařízení, ovšem výhoda je, že u této jednotky není potřeba odvádět kondenzát, jako u jiných*

Dají se použít entalpické výměníky i pro velké výměny vzduchu u větších zařízení s centrální VZT jednotkou?

- ❖ *Tyto jednotky jsou určeny k osazení do decentrálních jednotek. Jednotky Lossnay série LGH se dodávají v 9 modelových řadách s objemovými průtoky vzduchu od 38 do 2.000 m<sup>3</sup>/h.*

Jaká je doporučená údržba výměníku, aby se zabránilo jeho zanášení?

- ❖ *Úkony údržby a čas, kdy se mají provést, jsou popsány v provozních manuálech každého modelu. Je nutné dodržet pravidelné intervaly čištění a výměny u filtru i výměníku. V prašném prostředí je nutné případně osadit vysoce účinný filtr.*

Jaká je životnost větracích jednotek Lossnay?

- ❖ *Obecný údaj o životnosti hlavních částí je uveden níže. Uvedený čas nesouvisí s garantovaným pravidelným servisem. A výměna dílů se liší dle četnosti používání zařízení.  
Jádro Lossnay: Okolo 10 let s údržbou dle stanovených podmínek  
Vzduchové filtry: Okolo 5 let s údržbou dle stanovených podmínek  
Vysoce účinné filtry: 3000 hodin  
Motor: 30000 hodin*

Splňují zařízení Lossnay a další výrobky od Mitsubishi electronics požadavky na Ekodesign platný od 1.1. 2016 a 1.1. 2018?

- ❖ *Jednotky Lossnay RVX splňují nařízení komise (EU) 1253/2014 ze dne 7. července 2014 – Ekodesign.*

Setkáváte se s poruchami zařízení vlivem nesprávného užívání?

- ❖ *S poruchami výměníku se neseťkáváme s výjimkou nevhodně provozovaných zařízení, nebo poruch způsobených v elektrické síti.*

Jaká je spokojenost zákazníků se zařízeními Mitsubishi electronics?

- ❖ *Spokojenost zákazníků je vysoká, dle získaných informací není vzduch v zimním období vysušován a vyhovuje tak především lidem s dýchacími problémy, ale samozřejmě též ostatním. Nevýhodou deskových výměníků z plastu je odvlhčování větracího vzduchu a vysušení větracího vzduchu až na 25% relativní vlhkosti.*

Zajímala by mě také cena samostatného výměníku pro jednotku LGH-35X5 a cena celé jednotky.

- ❖ *Katalogová cena LGH-35RVX je 39500,- Kč bez DPH, cena výměníku pro tuto jednotku jako náhradního dílu je 15095,- Kč bez DPH.*

S jakou návratností se počítá u jednotek Lossnay?

- ❖ *To záleží na daném provozu a intenzitě používání zařízení.*

Děkuji za zodpovězení dotazů týkajících se jednotek Lossnay.

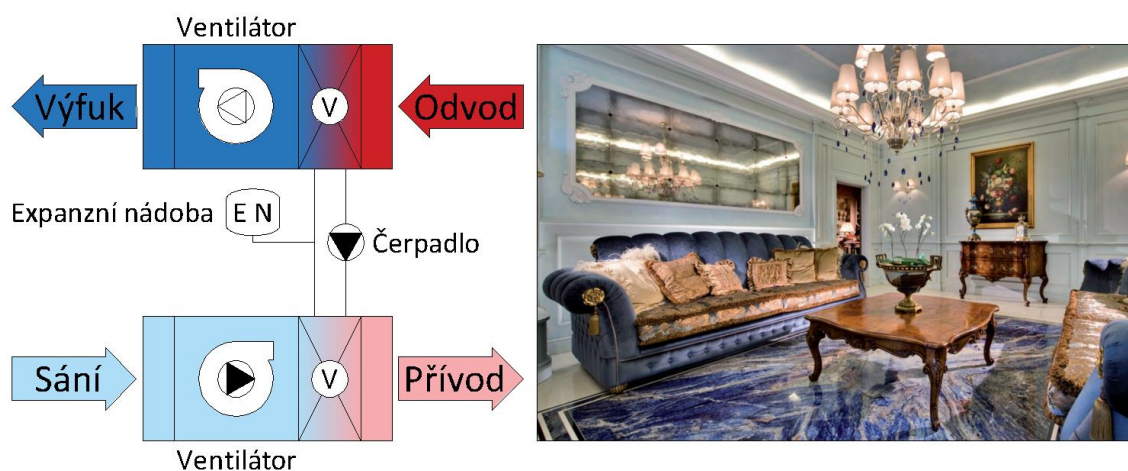
- ❖ *V případě potřeby jsem Vám k dispozici*

#### 2.2.4. Lamelové výměníky s kapalinovým okruhem

Tento systém pracuje na principu vzduch-voda-vzduch je tvořen lamelovými výměníky tepla, kapalinovým okruhem s expanzní nádobou a čerpadlem, které dává teplotně látky hybnost. Jako teplotně látkou tyto systémy využívají při vhodných podmínkách vodu nebo častěji používané její směsi s nízkou teplotou tuhnutí.

Největší výhodou tohoto systému je, že přívodní i odvodní potrubí vzduchotechniky mohou být libovolně vzdálená, kdy jeden z výměníků tepla se umístí na odvod a připojí se pomocí kapalinového okruhu a čerpadla k druhému výměníku umístěnému na přívodním potrubí. Další výhodou je, že se jedná o bezpečné systémy ZZT, kdy je úplně oddělen přívodní vzduch od odváděného, a proto nemůže dojít k jakémukoliv přenosu agencií nebo kontaminaci škodlivinami. Nevýhodou je potřeba energie pro pohyb teplotně látky pro práci oběhového čerpadla. U systémů s velkým počtem řad je možné dosáhnout vyšších účinností až 60 - 70 %, avšak běžné systémy nedosahují takovýchto účinností a pohybují se kolem 40 - 50 %. Z důvodu nízké účinnosti tyto výměníky nesplní podmínky Ekodesignu. Kapalinové okruhy mohou najít uplatnění ve specifických užitích.

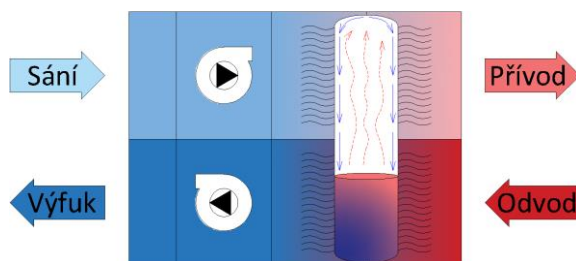
Pomocí kapalinového okruhu se dají vyřešit některé komplikace spojené s nemožností odvést odsávaný vzduch zpět do přívodní vzduchotechnické jednotky. Tento způsob lze také uplatnit, pokud nechceme měnit trasování již instalovaných VZT rozvodů, ale pouze je doplňují o zpětné získávání tepla, kdy se musí pouze předimenzovat ventilátory o tlakovou ztrátu způsobenou výměníky. Například u historických objektů, kde původní větrací systémy byly částečně založeny na přirozeném samotížném větrání pomocí zdobených šachet nad lustry pro odsávání a rozvodů čerstvého vzduchu ze strojovny v suterénu budovy, pro přívod ohřátého a filtrovaného vzduchu. V případech, kdy nelze dostat odváděný a přiváděný vzduch k sobě, kdy například pracovníci památkového ústavu nedovolí z důvodu ochrany památkového objektu instalovat další vzduchotechnické potrubí do interiéru objektu, ale topenářské potrubí již instalovat lze, je uplatnění těchto systémů ZZT nejvhodnější variantou, pokud nechceme použít tepelné čerpadlo. [1]



Obr. 9 Schéma zapojení kapalinového okruhu u historického objektu

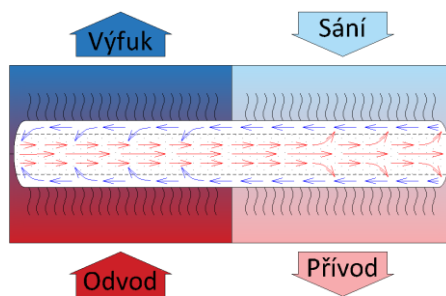
### 2.2.5. Tepelné trubice

Základem tohoto relativně jednoduchého pasivního systému je uzavřená dvoufázová trubice, opatřená na svém povrchu žebry pro zvýšení přenosu tepla z obtékajícího vzduchu do tepelné trubice, která je naplněna chladivem. Fyzikální podstata spočívá ve změně skupenství teplotnosné látky, u které dochází k vypařování a následné kondenzaci chladiva, které musí odpovídat provozním teplotám ve vzduchotechnické jednotce a tlaku v trubici. U tohoto systému je vždy nutné dodržet, aby ve spodním potrubí byl teplejší odpadní vzduch, kterému trubice odebere výparné teplo tím, že dojde k varu a odpařování chladiva, které stoupá vzhůru do části, v které je chladnější proud přiváděného vzduchu, u něhož naopak dochází ke kondenzaci chladiva v horní části trubice a předání kondenzačního tepla čerstvému vzduchu. [1] Zde dochází pouze k jednosměrné výměně tepla, proto bude správně fungovat pouze v zimním období, kdy se výparník nachází pod kondenzátorem.



Obr. 10 Tepelná trubice

Toto uspořádání ovšem nemusí dodržet kapilární tepelné trubice, kde se pro přenos tepla uplatňují kapilární síly namísto gravitačních. Na tomto principu fungují heatpipe trubice sloužící k chlazení procesorů v počítačích a solární kolektory. Mají transportní část s porézním knotem pro návrat kondenzátu do výparníku. [18]



Obr. 11 Kapilární trubice

Účinnost těchto systémů je přibližně 65%, ovšem výhoda těchto výměníků spočívá v dobré čistitelnosti, spolehlivosti a jednoduchosti konstrukce s absencí pohonu, kdy hybnost teplotnosné látky je zajištěna fyzikální cestou. Nevýhodou je nutnost vzájemného uspořádání polohy vzduchového potrubí a problematické rozhraní mezi proudy teplého a studeného vzduchu. [1]

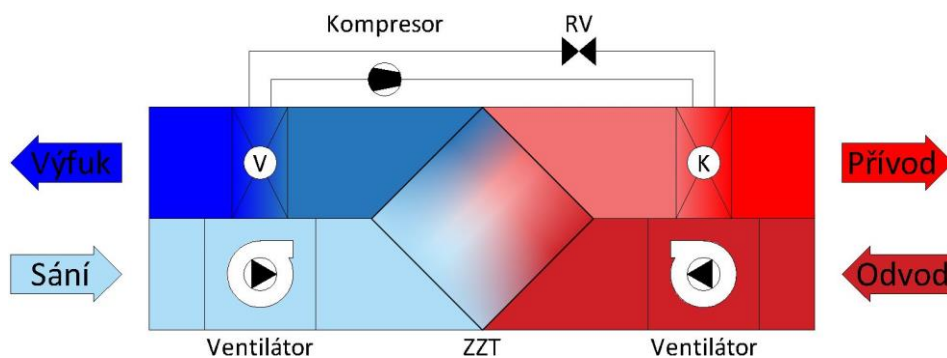
Tepelné trubice patří mezi bezpečné systémy ZZT, kde je eliminováno riziko přenosu škodlivin z odváděného vzduchu, proto je lze použít i v případech, kdy odváděný vzduch obsahuje prachové částice, pachy, zárodky nebo tuky. [12]

Podobně jako kapalinové okruhy i tepelné trubice dosahují nižších účinností a nesplní podmínky kladené Ekodesignem. Jejich uplatnění pro zpětné získávání tepla ve vzduchotechnice bude velmi omezené

### 2.2.6. Tepelné čerpadlo

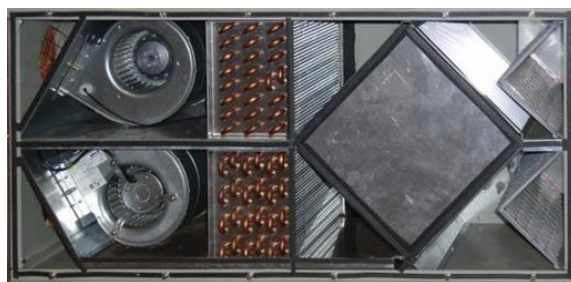
Jedná se o ekonomicky nejnáročnější způsob ZZT z odpadního vzduchu, za pomoci dodání energie kompresoru tepelného čerpadla s výparníkem a kondenzátorem ve vzduchotechnickém zařízení. Tento způsob využívá obráceného Carnotova cyklu.

Výhodou je možnost použití stavebně oddělených systémů podobně jako u kapalinových okruhů, kdy jsou výměníky kondenzátoru a výparníku každý v jiné části objektu nebo mohou být umístěny v jedné vzduchotechnické jednotce. Existují i aplikace, které kombinují ZZT pomocí deskového výměníku s tepelným čerpadlem (viz Obr. 12), kdy výparník tepelného čerpadla je umístěn ve vzduchotechnické jednotce za deskovým výměníkem, kde ještě více vychlazuje odpadní vzduch a kondenzátorem na přívodu za deskovým rekuperátorem, kde naopak přehřívá vzduch dohřeje.



Obr. 12 Kombinované ZZT s tepelným čerpadlem

U tohoto aktivního způsobu ZZT je možné dosáhnout účinnosti větší než 100 %, avšak pouze za dodání externí energie pro práci kompresoru. Tento způsob je vhodný například pro teplovzdušné systémy pasivních domů, kde funguje jako dohřev přiváděného vzduchu za rekuperátorem ZZT. [1]



Obr. 13 Kompaktní větrací jednotka s tepelným čerpadlem a deskovým ZZT (převzato z [19])

### 2.3. Regenerační systémy

Slovo regenerace je ve všeobecném smyslu bráno, jako proces obnovy, kdy například v lidském těle probíhá obnova buněk. Ve vzduchotechnice se jedná o uvedení do původního stavu, kdy dochází k uložení energie a její následné vydání, které se cyklicky opakuje. [20]

Regenerační systémy zpětného získávání tepla využívají akumulaci k uložení tepelné energie a hmoty obsažené v odváděném vzduchu a předání do přiváděného. Setkat se můžeme se dvěma základními konstrukcemi, a to s rotačním a přepínacím, které se liší především způsobem průtoku a polohou akumulační hmoty. U rotačních je hmota neustále v pohybu, kdežto u přepínacího setrvává stále ve stejné poloze. Oproti rekuperačním výměníkům, s výjimkou entalpického, předávají tyto výměníky nejen teplo, ale i vlhkost v nezanedbatelném množství. [9]

### 2.3.1. Rotační výměník

Spolu s deskovými patří rotační výměníky k nejrozšířenějším. Jejich obliba spočívá v tom, že nejen že mají vysokou účinnost zpětného získávání citelného tepla, mají i výbornou entalpickou účinnost díky přenosu vlhkosti a s ní spojenou vázanou tepelnou energii v ní obsaženou.

Charakteristické pro tyto výměníky je stálý směr proudění vzduchu a proměnná poloha akumulární hmoty, která je nanášena na povrch otáčejícího se rotoru. Tento teplosměnný povrch je tvořen střídajícími se vrstvami rovného a rádlovaného plechu z tenkého hliníku navinutého na středové ložisko v ose otáčení. Ve výsledku tvoří válec s šířkou přibližně 100 až 300 mm se soustavou drobných kanálků, které jsou omývány střídavě odpadním a přívodním vzduchem. Protože jsou tyto výměníky vhodné především pro velké systémy, dosahují značných rozměrů a je nutné jejich vyztužení pomocí takzvaných torzních tyčí a obvodového rámu, které zajišťují jejich statickou pevnost. Obvykle se tyto výměníky vyrábějí z hliníku, duralu, plastu nebo tvrzeného papíru, takže z materiálů křehkých a náchylných k porušení. Při manipulaci a transportu je nutné se vyvarovat nevhodnému uložení kola do nesprávné polohy či jakýchkoliv větších nárazů. Rotory se vyrábějí ve dvou variantách, jako celistvé kolo do průměru až 3,2 m popřípadě jako dělené na segmenty z důvodu dosažení torzní stability a statické pevnosti kola. Rotor dělený na segmenty je snadnější na přepravu a ve výsledku na čím více dílů je rozdělen, tím má kolo vyšší tuhost při otáčení. [21]



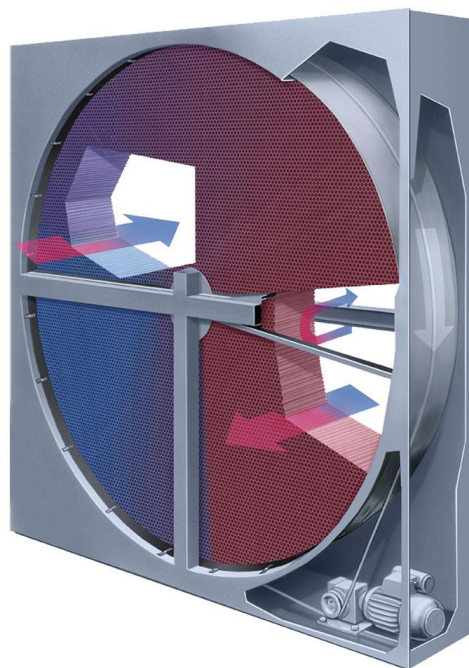
Obr. 14 Dělené oběžné kolo rotačního výměníku (převzato z [22])

Pokud je funkcí výplně pouze přenos citelného tepla, bývá teplotní účinnost 60 - 80 %. [12] Tyto rotory jsou vyrobeny pouze z hliníkového plechu. Pro zintenzivnění přenosu vlhkosti může být povrch upraven nanášením speciální absorpční látky, aby byl hygroskopický. Může být tvořen i materiály, které samy o sobě toto umožňují, jako plasty s hygroskopickými vlastnostmi, tvrzené papíroviny napuštěná lithium chloridem nebo

hliníkový plech opatřený hygroskopickou vrstvou. S teplem se přenáší i vlhkost, která zvlhčuje přiváděný vzduch a snižuje potřebu následného dovlhčení. Účinnosti předání vlhkosti se pohybují kolem 60 -70 % a maximální entalpická účinnost dosahuje 85 %. [21] Tyto výměníky ve velké míře budou dosahovat účinností splňující požadavky podmínky kladené nařízením komise číslo 1253/2014 ze dne 7. července 2014. Požadavky druhého stupně Ekodesignu platného od 1. ledna 2018 už nemusí bez opatření splňovat všechny.

Hybnost rotoru je zajištěna pomocí elektromotoru, který je z převodován tak, aby zajišťoval optimální otáčení akumulční hmoty. Otáčení je regulováno v závislosti na potřebách mikroklima v interiéru. V přechodovém období, aby nestoupala teplota přiváděného vzduchu nad potřebnou úroveň, je činnost nutno regulovat.

Pro tyto výměníky platí omezení, kdyby bylo nevhodné jejich užití pro určité provozy s požadavky na vyšší čistotu provozu. Není zajištěna úplná těsnost mezi proudy, a proto by se neměly tyto výměníky používat v případech, kdy odpadní vzduch obsahuje zápachající látky rozpuštěné ve vodě, chemické škodliviny nebo choroboplodné zárodky. [21]



Obr. 15 Rotační výměník (převzato z [23])

Další nevýhodou tohoto způsobu je, že nejsou vhodné pro využití u vzduchu, který má na odtahu vysokou relativní vlhkost a nízkou teplotu. Případná kondenzace může poničit ložiska rotoru a při teplotách pod  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  může dojít k zamrznutí celého průřezu rotoru a poničení hliníkových lamel o led, který vznikne jak ve vlastním rotoru, tak také na přepážkách rozdělující přívodní a odsávaný vzduch. Poničený rotor zpravidla není možné opravit a musí se nákladně celý vyměnit. [1]

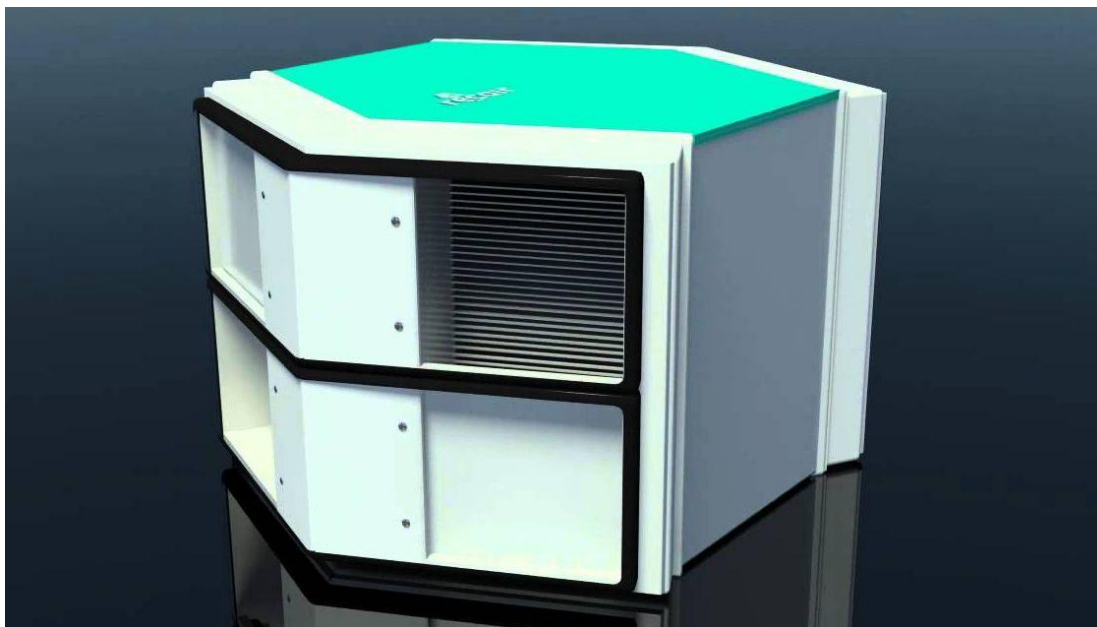
### 2.3.2. Přepínací výměníky

Přepínací výměníky, někdy zvané překlápěcí výměníky, jsou konstruovány tak, aby se měnil (přepínal) směr proudění vzduchu skrz akumulaci hmoty, která zůstává ve stále stejné poloze, na rozdíl od rotačních, u kterých se tato hmota pohybuje.

Setkat se můžeme s několika modifikacemi, kdy přepínací výměník decentrální ventilační jednotky má jednu komoru s akumulací hmoty a mění směr proudění vzduchu pomocí změny otáček ventilátoru. Dochází ke střídavému průtoku, který způsobuje různé tlakové poměry ve větraném prostoru. Při použití dvou jednotek, osazených na různých místech, kdy jedna přivádí a druhá současně odvádí vzduch, se účinnost zdvojnásobuje. Pokud je vzduchotechnické potrubí přivedeno na jedno místo, mají tyto výměníky dvě komory naplněné akumulací hmoty a používají soustavu klapek, které přepínají přiváděný a odváděný vzduch tak, aby procházel přes tyto komory střídavě a předával tak tepelnou energii a vlhkost mezi jednotlivými proudy.

Nevýhodou těchto zařízení je, že nelze zabránit přenosu škodlivin z odváděného vzduchu do čerstvého přiváděného, kdy při přepínání se 5 až 10 % větraného vzduchu vrací zpět do interiéru. Proto lze tyto výměníky použít pouze tam, kde nejsou kladeny vyšší požadavky na čistotu prostředí, anebo je nízký přenos škodlivin přípustný. Tyto konstrukce výměníků patří mezi objemnější a díky přepínání klapek k složitějším.

Tyto systémy ZZT a ZZV dosahují poměrně vysokých účinností, pohybujících se u teplotní účinnosti v rozmezí 60 až 90 % a u vlhkovostní účinnosti mezi 50 až 70 %. [12] Tyto výměníky mohou Ekodesign splňovat a uplatnění naleznou v administrativních a občanských budovách.



Obr. 16 Regenerační přepínací výměník (převzato z [24])

### 3. Vlivy zpětného získávání tepla na návrh vzduchotechnické jednotky

Již při ideové úvaze o využití zpětného získávání tepla, by se měly zvážit jeho dopady na provoz a konstrukci vzduchotechnického zařízení. Jedná se v podstatě o navrhnutí budoucího provozu, do kterého zasahuje mnoho faktorů, které je možno ověřit až po realizaci a skutečně si je potvrdit, zdali se shodují s predikovanými údaji.

V následující kapitole jsou popsána základní kritéria a problémy, se kterými se můžeme při návrhu zpětného získávání tepla setkat.

#### 3.1. Ekonomie a návratnost

Investice do větracího systému přináší značnou finanční zátěž při výstavbě či rekonstrukci objektu. V porovnání s investicí do jiného úsporného opatření, například výměny oken či zateplení fasády, se jeví jako méně výhodná z důvodu delší doby návratnosti. Většinou se však hodnotí pouze ekonomické srovnání uspořené energie vůči pořizovacím a provozním nákladům. Ovšem větrání přináší i přidanou hodnotu v podobě zkvalitnění vnitřního prostředí, a tedy i zlepšení podmínek pro bydlení, což není v návratnosti zohledněno. Při porovnání pouze ZZT, kdy se nemění kvalita přiváděného vzduchu, lze návratnost uvažovat jako objektivnější. [1]

Při návrhu jednotky využívající ZZT je rozhodující, zda se vrátí vložená investice do pořízení a související náklady na provoz v porovnání jednotky bez tohoto systému. Mezi související náklady je třeba zahrnout i spotřebu energie, která je dodána ventilátoru na překonání tlakové ztráty výměníku ZZT, pohon oběhových čerpadel nebo pohon rotačního výměníku. [12]

Zásadní vliv na návratnost systému zpětného získávání tepla má podíl jeho provoz, kdy dlouhá nepřerušovaná denní provozní doba pozitivně přispívá ke zkrácení návratnosti, oproti přerušovanému provozu s delší dobou návratnosti. [9]

#### 3.2. Účinnost zpětného získávání tepla

Výrobci zařízení pro zpětné získávání tepla uvádějí hodnotu tepelné (termické) účinnosti, která vyjadřuje poměr tepelné energie předané přiváděnému vzduchu a tepelné energie obsažené v odváděném vzduchu.

$$\eta_{t,Přivodní} = \frac{[t_{①} - t_{②}]}{[t_{③} - t_{②}]} \quad \eta_{t,Odvodní} = \frac{[t_{④} - t_{⑤}]}{[t_{⑥} - t_{⑤}]}$$

Toto porovnání je zjednodušené, a také nejednoznačné, protože nezohledňuje další parametry. Často výrobci uvádějí pouze krátkodobou maximální účinnost výrobků, dosaženou pouze krátkodobě při určitých podmínkách, které v reálném užívání nebudou dosažitelné. Účinnosti při měření nevycházejí stále. Je to způsobeno závislostí na skutečných podmínkách při provozu.

V případě pasívních systémů ZZT je z principu termodynamických zákonů nemožné překročit hranici 100 %, na rozdíl od aktivního systému, kde do systému je přiváděna další externí energie, například pro kompresor tepelného čerpadla, které díky tomu může navýšit účinnost zpětného získávání a může vyjít větší než 100 %. Podobně jako termickou účinnost, lze vypočítat entalpickou a vlhkostní účinnost přenosu. [9]

V reálných aplikacích se nejčastěji používají kompaktní systémy ZZT se jmenovitou účinností 50-90%, kdy zařízení s nižší účinností se z důvodů dlouhodobé návratnosti nevyplatí. Investice vynaložené na pořízení a provoz jsou vyšší, než vzniklé úspory energie. Zároveň jsou pro určité provozní podmínky vyžadovány. Podle normy ČSN 730540-2 je stanoveno, že pokud je celková intenzita výměny vzduchu v budově větší než  $n = 2$  po dobu nejméně 8 hodin denně, požaduje se ZZT s účinností min. 60 %. (viz. kapitola 5) Navíc Ekodesign podle směrnice 1253/2014/ES vyžaduje, aby větrací jednotky pro jiné, než obytné budovy, byly povinně vybaveny systémem zpětného získávání tepla s minimální účinností  $\eta_{t,ZZT} = 67\%$  od 1. ledna 2016 a  $\eta_{t,ZZT} = 73\%$  od 1. ledna 2018. (viz. kapitola 4.1.2) [25]

### 3.2.1. Namrzání výměníků

Namrzání výměníků je negativní jev spojený s provozem ZZT. Při teplotách pod bodem mrazu a zvýšenou vlhkostí vzduchu dochází k zamrzání výměníku, což má vliv na funkci zařízení. Námraza na stěnách snižuje průtok vzduchu a zvyšuje odpor při přestupu lamelou výměníku. Dokonce může dojít i k destrukci výměníku vlivem rozpínání ledu. Proto je u rekuperačních výměníků nutné se otázkou zamrzání zabývat. Opatření proti zamrzání obecně snižují účinnost ZZT, a proto správná volba může mít také nezanedbatelný vliv na celkové energetické úspory řešení. [9]

Základním řešením může být cyklické rozmrazování pomocí změny průtoků vzduchu, ohříváním vzduchu nebo cirkulací vzduchu. U cyklického odmrazování a cirkulace dochází ke vzniku teplotní a průtokové nestability, ovšem z hlediska změny průměrné účinnosti vychází tento způsob jako příznivější.

Dalším způsobem ochrany je trvalé zajištění podmínek zabráňujících vzniku námrazy. Toho lze dosáhnout obtokem výměníku by-passem, předehřevem přiváděného vzduchu, směšováním, případně vhodně umístěným lokálním ohříváčem nebo užitím zemního výměníku. Díky těmto způsobům lze zajistit stabilní přísun požadovaného množství čerstvého vzduchu, ovšem za cenu vyšších nákladů spojených s nutností dopravy přiváděného vzduchu, čímž se zvýší spotřeba energií a celková účinnost se sníží.

Regenerační výměníky, u kterých je přestup tepla řešen v opakujících se cyklech, je riziko negativních následků zamrznutí za běžných podmínek minimální. U rotačních výměníků se při otočení zamrzlá část odmrazí a u přepínacích výměníků dojde ke změně směru přiváděného proudu za teplejší odváděný, proto se u těchto výměníků většinou ochrana proti zamrzání nijak neřeší. [9]

### 3.2.2. Regulace

Při návrhu jednotky má zásadní postavení také její regulace. Regulovatelnost soustavy je úzce spojena s efektivitou provozu, kdy složité a propracované systémy dokáží správně a včas reagovat na změnu podmínek. Různé druhy ZZT nabízejí odlišné způsoby regulace. Výborně regulovatelný je například rotační výměník, u kterého lze pomocí změny otáček rotoru ovlivnit požadovaný přenos tepelné energie a vlhkosti. U deskového výměníku stejně jako u entalpického je regulovatelnost náročnější a méně přesná. Dobrou regulovatelnost mají také kapalinové okruhy, kde je možné řídit průtok kapaliny pomocí oběhového čerpadla s plynulou regulací otáček. [26]

Regulace se týká samozřejmě i ventilátorů, kdy Ekodesign podle směrnice 1253/2014/ES vyžaduje, aby větrací jednotky pro obytné budovy i jednotky pro jiné než obytné budovy byly od 1. ledna 2016 vybaveny regulací otáček, tedy pohonem s frekvenčním měničem a vizuálním signálem upozorňujícím na nutnost výměny filtru. (viz kapitola 4.1.2) [25]

### 3.2.3. Těsnost výměníku a jeho konstrukční pevnost

Pokud jsou při instalaci kladeny požadavky na zamezení přenosu hmoty mezi odváděným proudem znečištěného vzduchu a přívodem čerstvého vzduchu, je přenos řešen přes pevnou stěnu výměníku. Tento způsob je typický pro rekuperační výměníky s přímou výměnou vzduchu, například deskové a trubkové výměníky. Při použití teplotně odolné látky u lamelových kapalinových okruhů, tepelných trubíc nebo výparníku a kondenzátoru tepelného čerpadla, vždy záleží na těsnosti samotných výměníků, zdali neuniká do jednotlivých proudů chladivo nebo teplotně odolná látka. Důležité je, že kontaminaci přívodního vzduchu odvodním je zabráněno, dokonce tyto proudy mohou být od sebe vzdáleny. U deskových entalpických výměníků nastává speciální případ, kdy skrz membránovou stěnu ze speciálně upraveného papíru dochází k transportu molekul vodní páry  $H_2O$ , ale k přestupu molekul  $CO_2$  dochází v omezené míře. U regeneračních výměníků platí odlišná situace, zde totiž dochází k určitému znečištění přiváděného vzduchu vzduchem odváděným. Toto nastává u rotačních výměníků, u kterých se počítá s 5 % trvalým průtokem v závislosti na těsnosti kolem rotoru a u přepínacích výměníků, kde při přepnutí může zůstat znečištění ve výměníku a vrátit se zpět. Regenerační výměníky se nemusí hodit do některých provozů jako například nemocnice, chemické laboratoře nebo kuchyně.

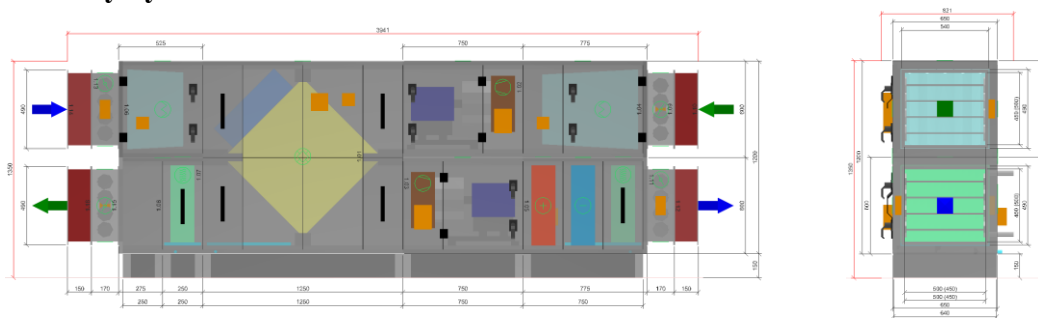
Těsnost kolem samotného výměníku je ve velké míře závislá na kvalitě zpracování komory vzduchotechnické jednotky a jejich propojení. Při standardní aplikaci například deskového výměníku, tedy za běžných tlaků, kdy nedochází k porušení výměníku vlivem velkého náporu vzduchu na příliš tenkou stěnu výměníku, která by se tím pádem mohla deformovat, se považují výměníky za vzduchotěsné. Při zvýšených tlacích nebo v případech, že odváděné škodliviny jsou nebezpečné pro osoby, se musí těsnost ověřit a primárně navrhnout tlakové poměry, které dosáhnou přetlaku na přívodu čistého vzduchu. [9]

### 3.2.4. Prostorové nároky

Při výběru konstrukce výměníku může hrát roli i stavební řešení prostoru, do kterého má být jednotka zastavěna. Je nutné počítat se zvýšením prostorových nároků při osazení jednotky výměníkem ZZT.

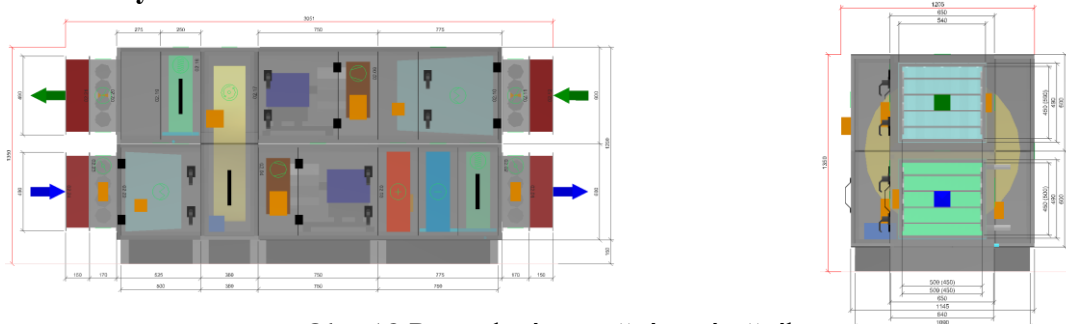
Na následujících obrázcích je porovnání velikosti sestav jednotek, osazených různými druhy ZZT. Pro objektivnost jsou zvoleny identické vstupních parametry. U jednotek s rotačními výměníky, oproti deskovým, se značně zkracuje zastavěný prostor. Tyto výměníky mají v ose rotace relativně malé rozměry, jsou tedy ploché, široké a vysoké.

#### Deskový výměník



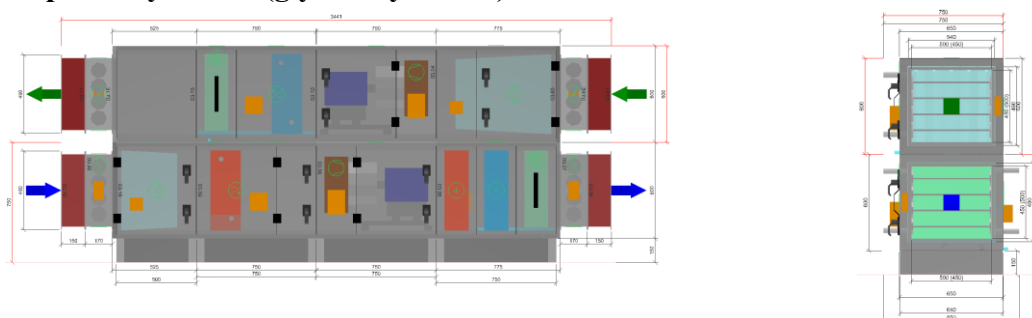
Obr. 17 Provedení s deskovým výměníkem

#### Rotační výměník



Obr. 18 Provedení s rotačním výměníkem

#### Kapalinový okruh (glykolový okruh)



Obr. 19 Provedení s kapalinovým okruhem

V případě oddělených potrubí, kdy se přívodní potrubí nachází v jiné části nebo jiném patře než odvodní, lze použít pouze některé druhy zpětného získávání, u kterých se využívá teplonosné látky či chladiva, například při použití lamelového výměníku s kapalinovým okruhem nebo tepelného čerpadla. Tyto systémy ovšem mají menší účinnost, ale velkou prostorovou variabilitu. Naopak u ostatních způsobů je nutné, aby jednotlivá potrubí byla v těsné blízkosti pro instalaci ZZT.

### 3.3. Obecný postup při návrhu systému pro zpětné získávání tepla

#### **Kritéria užití zpětného získávání tepla**

Jedním z prioritních úkolů je stanovení nutnosti použití ZZT pro daný provoz vyplývající z právních předpisů. V závislosti na provozní době a intenzitě výměny vzduchu stanovuje Národní norma ČSN 730540-2 bod 7.3. požadavek nebo doporučení užití ZZT (viz kapitola 5). Dále také požadavky Ekodesignu na specifickou spotřebu energie VZT zařízení a účinnost ZZT (viz kapitola 4.1.1).

#### **Specifikace vstupních hodnot**

Zásadní význam má zjištění průměrných venkovních teplot, denní provozní doby, uvažované doby provozu ZZT, roční doby provozu, hlukových limitů, množství přiváděného a odváděného vzduchu. Dále také ceny energií, pořizovací náklady, odpisy a údržba.

#### **Volba reálných variant**

Na základě získaných vstupních hodnot je třeba zvolit vhodné způsoby zpětného získávání tepla i s ohledem na zpětné získávání vlhkosti.

#### **Návrh tepelných prvků**

Předběžný návrh variant výměníků a jejich dimenzování pro dané vstupní hodnoty k ekonomickému a technickému posouzení.

#### **Ekonomické hodnocení variant**

Primární podmínkou rentability navržených systému je reálná návratnost investic do zařízení při jeho provozu. Vliv má cena energií (tepelné a elektrické), doba provozu zařízení, průtok vzduchu, pořizovací náklady, údržba a odpisy.

#### **Výběr optimální varianty**

Zvolení finální varianty, která je nejvhodnější z hlediska ekonomického i technického řešení pro stavební a provozní podmínky.

#### **Podrobný návrh**

Vypracování podrobné dokumentace.

#### **Řešení měření a regulace**

Návrh ovládání protimrazové ochrany a by-passu. Zapojení čidel a připojení k centrálnímu řídicímu systému MaR. [10]

## 4. Seznámení s Ekodesignem

Slabika “eco” v českém jazyce “eko” v etymologii slov zastupuje funkci předložky při vytváření slov například ekonomie a ekologie, které vyjadřují často globální vliv na různá odvětví lidského konání. [4] Ve snaze omezit negativní dopady výrobků na životní prostředí v průběhu celého životního cyklu nebo zdokonalit materiálové složení a úspory energií, je nutné postupovat cestou větších či menších krůčků/kroků.

V roce 2005 byla přijata relativně přelomová směrnice 2005/32/ES [27], která dala zásadní pravomoc Evropské komisi (dále jen EK), definovat kvalitativní požadavky na environmentální aspekty výrobků a zařízení využívajících při svém provozu energii energetických spotřebičů EuP, které jsou po uvedení do provozu závislé na tom, aby mohly fungovat díky energetickému vstupu z elektrické energie, fosilních paliv nebo z obnovitelných zdrojů energie. Například jde o motory elektrického pohonu, domácí spotřebiče, ohřev vody, systémy HVAC (vytápění, ventilační klimatizace). [27]

Navíc rozsah působnosti této normy byl dále obohacen přijetím nové směrnice o Ekodesignu číslo 2009/125/ES, která rozšiřuje působnost i na výrobky spojené se spotřebou energie ErP. Hlavním důvodem bylo tedy využití významného potenciálu úspor nepřímo spotřebované energie, které je možno docílit u výrobků spojených se spotřebou energie, kdy norma uvažuje dílce a materiály používané ve stavebnictví, jako jsou okna, izolační materiály nebo sprchové hlavice a baterie. [28]

Podstatou Ekodesignu je zpravidla definice jistých přípustných hodnot energetické náročnosti a účinnosti během provozu, tedy především efektivnější konečné spotřebě elektrické energie. Hodnoty přitom bývají přísnější, než jaký je aktuální průměr trhu, čímž se snaží motivovat výrobce k dalšímu technologickému vývoji.

Normy Ekodesignu obsahující základní identifikaci výrobků a zařízení, pro která mají být specifikována různá kritéria a limitní hodnoty Ekodesignu, jenž kladou environmentální požadavky na energetické spotřebiče, pro něž musí platit jistá kritéria. viz článek 15. směrnice 2009/125/ES: [28]

- výrobky s významným objemem prodeje, orientačně stovky tisíc kusů za rok na evropském trhu
- životní cyklus výrobku má významný dopad na životní prostředí (vyšší míra využití během dne či roku, vysoká spotřeba dalších vstupů např. vody nebo velký potenciál dalšího růstu spotřeby)
- výrobek má významný potenciál ke zlepšení dopadu na životní prostředí bez nepřiměřeně vysokých nákladů

Komise zváží životní cyklus výrobku a jeho veškeré významné environmentální aspekty, například energetickou účinnost a formuluje ucelený rámec požadavků a jednu nebo více lhůt pro jejich dosažení. Opatření však musí eliminovat negativní dopady na konkurenceschopnost výrobního odvětví, na funkčnost a bezpečnost a na cenovou dostupnost pro spotřebitele. [29]

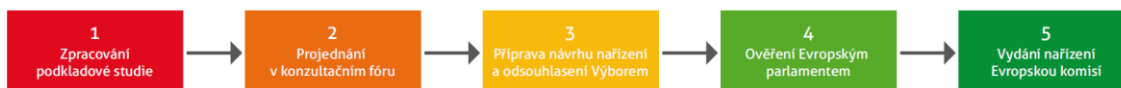
Pracovní plán pro konkretizaci skupin výrobků, považovaných za prioritní pro přijetí prováděcích opatření na Ekodesign jsou výrobky s vysokým potenciálem pro efektivní snížení emisí skleníkových plynů, což jsou například:

- topná zařízení a zařízení pro ohřev vody
- systémy elektrického pohonu
- osvětlení v domácnostech a terciárním sektoru
- domácí spotřebiče
- kancelářská technika v domácnostech a na pracovištích
- spotřební elektronika
- systémy HVAC (vytápění, ventilace, klimatizace) [27]

Vedle požadavků na maximální energetickou efektivitu je však nutné rovněž postupně rozšiřovat instrument energetického štítkování. Doposud jim byla označována pouze bílá technika, větší kuchyňské elektrospotřebiče (el. trouby, lednice), světelné zdroje či klimatizace pro domácnost. [30]

Proces schválení lze rozdělit na pět dílčích kroků, podle kterých vznikají normy Ekodesignu a to na základě podkladových studií, konzultačního fóra a prováděcích předpisů:

- 1) zpracování podkladové studie
- 2) její projednání v konzultačním fóru
- 3) příprava návrhu nařízení a jeho odsouhlasení tzv. Regulačním výborem
- 4) ověření Evropským parlamentem
- 5) nakonec faktické vydání nařízení Evropskou komisí [30]



Obr. 20 Proces schválení normy (převzato z [30])

Pro TZB jsou důležité zejména elektromotory, ventilátory, oběhová čerpadla a vzduchotechnická zařízení. Vzduchotechnickým zařízením se bude podrobněji věnována následující kapitola.

#### 4.1. Vzduchotechnická zařízení

Komise posoudila technické, environmentální a ekonomické aspekty větracích jednotek, z kterých vyplynul velký potenciál pro úsporu energie. K tomu přispěl také fakt, že větrací jednotky jsou uváděny na trh Evropské unie ve velkém množství. Nejvýznamnějším environmentálním aspektem větracích jednotek je spotřeba energie ve fázi používání, která má významný potenciál k nákladově efektivním úsporám energie a snížení emisí skleníkových plynů.

S ohledem na směrnici Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES ze dne 21. října 2009 o stanovení rámce pro určení požadavků na Ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie byly zavedeny i specifické soubory norem a požadavky pro větrací zařízení obytných a jiných než obytných budov, které je upraveno nařízením komise číslo 1253/2014 ze dne 7. července 2014. [25]

Důležitou součástí větracích jednotek jsou ventilátory a jejich motory, které zajišťují transport vzduchu pro jeho výměnu. Požadavky minimální energetické účinnosti ventilátorů stanovuje nařízení Evropské komise číslo 327/2011. Požadavky Ekodesignu elektromotorů jsou stanoveny v nařízení Evropské komise 640/2009. Tyto požadavky se zaměřují na součásti vzduchotechnických jednotek, avšak řada komponentů je z nich vyňata, jako například větrací jednotky s elektrickým příkonem nižším než 30 W na jeden proud vzduchu. Uplatňování požadavků na tato malá zařízení, sloužící v koupelnách pro přerušovaný krátkodobý odtah nebo odsávače kuchyňských sporáků, by nepřineslo kýžený efekt, vzhledem k velkému objemu, ale příliš malému potenciálu úspor energie. Vyňaty by měly být rovněž větrací jednotky, speciálně určené k provozování výlučně pro nouzové účely nebo ve výjimečných či nebezpečných prostředích, protože jsou využívány jen výjimečně a po krátkou dobu.

Především u jiných než obytných staveb jsou kladeny požadavky na povinné zefektivnění zařízení osazením systému zpětného získávání tepla o předepsané tepelné účinnosti a vybavených obtokem výměníku. (viz kapitola 4.1.2) U obousměrných větracích jednotek vybavených výměníkem se tepelnou účinností systému zpětného získávání tepla rozumí poměr mezi tepelným ziskem přiváděného vzduchu a tepelnou ztrátou odváděného vzduchu. Obojí v porovnání s venkovní teplotou a za standardních atmosférických podmínek. [25]

Výjimky rovněž objasňují, že jsou vyloučeny multifunkční jednotky, které převážně vytápějí nebo chladí, s výjimkou přenosu tepla pro ochranu před mrazem nebo odmrazováním.

#### 4.1.1. Požadavky Ekodesignu na účinnost ZZT při posouzení VZT jednotky

U větracích jednotek pro obytné budovy se zavedl koeficient vyjadřující energii spotřebovanou při větrání na m<sup>2</sup> vytápěné podlahové plochy bytu nebo budovy, který se značí SEC, čímž se rozumí specifická spotřeba energie a je popsán jednotkou Wh/(m<sup>2</sup>.a). SEC se poskytuje pro každé klimatické pásmo.

$$SEC = t_a \cdot p_{ef} \cdot q_{net} \cdot MISC \cdot CTRL^x \cdot SPI - t_h \cdot \Delta T_h \cdot \eta_h \cdot c_{air} \cdot \left( q_{ref} - q_{net} \cdot CTRL \cdot MISC \cdot (1 - \eta_{t,ZZT}) \right) + Q_{defr}$$

Ve výpočtu je zahrnuto mnoho faktorů popisujících daný systém, parametrů provozu a účinností zařízení, které jsou detailně popsány (viz. Příloha 1). [25]

Pro jiné větrací jednotky, než v obytných budovách, je Ekodesignem zavedeno také mnoho parametrů, které musí být splněny a s nimiž souvisí další výpočty, například minimální tepelné účinnosti systémů zpětného získávání tepla  $\eta_{t,ZZT}$  a maximální vnitřní měrný příkon ventilátoru větracích jednotek  $SFP_{int\_lim}$ .

- Minimální tepelné účinnosti systémů zpětného získávání tepla

$$\eta_{t,ZZT} = (t_2'' - t_2') / (t_1' - t_2') \geq 67 \% \text{ (73\% od 2018)}$$

Bonus za účinnost, pokud vyjde příznivěji, než požadovaná hodnota 67%

$$E = (\eta_{t,ZZT} - 0,67) * 3000$$

- Maximální vnitřní měrný příkon ventilátoru větracích jednotky

Pro jednotky  $q_{nom} < 2 \text{ m}^3/\text{s}$  (7200 m<sup>3</sup>/hod)

$$SFP_{int\_jednotky} < SFP_{int\_lim} = 1200 + E - 300 * q_{nom} / 2 - F$$

Pro jednotky  $q_{nom} \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$  (7200 m<sup>3</sup>/hod)

$$SFP_{int\_jednotky} < SFP_{int\_lim} = 900 + E - F$$

F je korekce na použité filtry (viz Příloha 2)

#### 4.1.2. Termíny plnění

Aplikací směrnice 1253/2014 na vzduchotechnické jednotky s rekuperačním nebo regeneračním systémem zpětného získávání tepla dochází k zavedení požadavků prvního stupně od 1. 1. 2016 a druhého stupně od 1. 1. 2018. Vzduchotechnické jednotky budou muset splňovat minimální požadavky Ekodesignu od těchto mezníků.

##### Větrací jednotky pro obytné budovy

Od 1. ledna 2016 SEC, vypočtená pro průměrné klimatické podmínky, nesmí být vyšší než 0 kWh/(m<sup>2</sup>.a).

Bezpotrubní jednotky a větrací jednotky musí mít maximální L<sub>WA</sub> ve výši 45 dB.

Větrací jednotky musí být vybaveny regulací otáček.

Obousměrné větrací jednotky musí mít zařízení pro tepelný obtok. [25]

Od 1. ledna 2018 SEC, vypočtená pro průměrné klimatické podmínky, nesmí být vyšší než 20 kWh/(m<sup>2</sup>.a).

Bezpotrubní jednotky a větrací jednotky musí mít maximální L<sub>WA</sub> ve výši 40 dB.

Větrací jednotky musí být vybaveny regulací otáček.

Obousměrné větrací jednotky musí mít zařízení pro tepelný obtok.

Větrací jednotky s filtrem musí být vybaveny vizuálním signálem upozorňujícím na nutnost výměny filtru. [25]

##### Větrací jednotky pro jiné než obytné budovy

Od 1. ledna 2016 Všechny větrací jednotky, s výjimkou jednotek pro duální použití, musí být vybaveny vícerychlostním pohonem nebo pohonem s proměnnými otáčkami. (IE2 motor + FM, EC motor, PM motor + FM)

Všechny obousměrné větrací jednotky musí mít systém zpětného získávání tepla.

Systém zpětného získávání tepla musí mít zařízení umožňující tepelný obtok.

Minimální tepelná účinnost  $\eta_{t,ZZT}$  všech systémů zpětného získávání tepla, s výjimkou oběhových systémů zpětného získávání tepla obousměrných větracích jednotek, musí být 67 %

Maximální vnitřní měrný příkon ventilátoru větracích součástí SFP<sub>int\_jednotky</sub> ve [W/(m<sup>3</sup>/s)] musí být menší, než maximálně dovolený limit SFP<sub>int\_lim</sub>. [25]

Od 1. ledna 2018 Všechny větrací jednotky, s výjimkou jednotek pro duální použití, musí být vybaveny vícerychlostním pohonem nebo pohonem s proměnnými otáčkami. (IE2 motor + FM, EC motor, PM motor + FM)

Všechny obousměrné větrací jednotky musí mít systém zpětného získávání tepla.

System zpětného získávání tepla musí mít zařízení umožňující tepelný obtok.

Minimální tepelná účinnost  $\eta_{t,ZZT}$  všech systémů zpětného získávání tepla, s výjimkou oběhových systémů zpětného získávání tepla obousměrných větracích jednotek, musí být 73 %

Maximální vnitřní měrný příkon ventilátoru větracích součástí  $SFP_{int\_jednotky}$  ve  $[W/(m^3/s)]$  musí být menší, než maximálně dovolený limit  $SFP_{int\_lim}$

Pokud je součástí konfigurace filtrační jednotka, je systém řízení výrobku vybaven vizuální nebo zvukovou signalizací, která se aktivuje, pokud tlaková ztráta filtru překročí maximální přípustnou konečnou tlakovou ztrátu. [25]

#### 4.1.3. Očekávané dopady

Zavedením Ekodesignu pro vzduchotechnické jednotky zpřísňuje požadavky a nutí tak výrobce a projektanty k uplatnění novějších či stávajících technologií pro dodržení stanovených limitů. Výrobci mohou během přípravy opatření použít porovnání z referenčních hodnot pro jednotky s vysokou energetickou účinností k vyhodnocení nejlepších konstrukčních technologií a vývoj účinnějších výrobků za účelem snižování spotřeby elektrické energie usnadnit. [25]

Zvýšení účinnosti povede ke snižování rychlostí a zvětšování jednotek, strojoven VZT a potrubí, to sebou ponese zvýšené pořizovací náklady na prostorové řešení stavby, což při dnešní ceně za objem stavby v porovnání s úsporou energie nemusí být rentabilní.

#### 4.1.4. Příklad

V části experimentální měření jsem pracoval s ventilační jednotkou Lossnay jejíž požadavky na příkon ventilátorů a účinnosti zpětného získávání tepla splňují nařízení komise číslo 1253/2014 ze dne 7. července 2014 – Ekodesign.

V části B byly provedeny dva návrhy jednotek. Pro variantní návrh byla zvolena klimatizační jednotka s deskovým výměníkem ZZT, který dosahoval účinnosti 56 % (viz kapitola B 3.2). Tato jednotka by tedy nespĺnila podmínky kladené nařízením komise číslo 1253/2014 ze dne 7. července 2014. Bylo by tedy nutné redesignovat jednotku a provést opatření vedoucích ke zvýšení účinnosti. Změna rozteče lamel a snížení rychlosti by vedlo ke zvýšení účinnosti pro splnění Ekodesignu. Změna rychlosti by měla však vliv na velikost a zvýšily by se prostorové nároky vzduchotechnických jednotek.

Ve variantě s přenosem vlhkosti bylo navrženo několik decentrálních jednotek s entalpickým výměníkem umístěných do podhledu. Tyto jednotky dosahují vynikajících účinností vyšší než 80 %, proto nemají potíže se splněním požadavků ani druhého stupně podmínek kladených nařízením komise číslo 1253/2014 platných od 1. ledna 2018.

Pokud má jednotka splňovat podmínky Ekodesignu je nutné, aby i její komponenty tyto podmínky splňovaly.

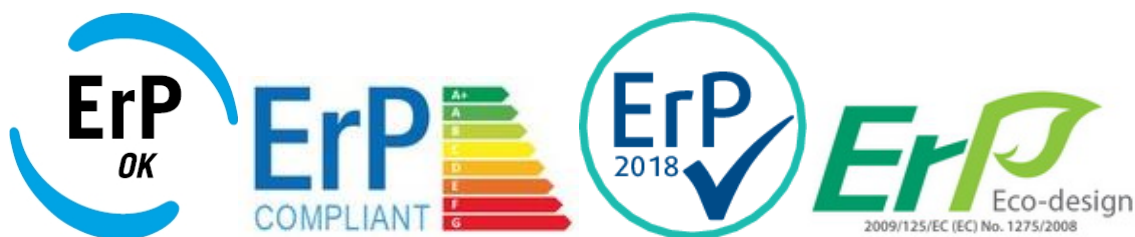
## 4.2. Časová osa

16. prosince 1997	Směrnice Evropského parlamentu a Rady 97/68/ES ze dne 16. prosince 1997 o sbližování právních předpisů členských států týkajících se opatření proti emisím plyných znečišťujících látek a znečišťujících částic ze spalovacích motorů určených pro nesilniční pojízdné stroje
13. října 2003	Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/87/ES ze dne 13. října 2003 o vytvoření systému pro obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů ve Společenství
6. července 2005	Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2005/32/ES ze dne 6. července 2005 o stanovení rámce pro určení požadavků na Ekodesign energetických spotřebičů [27] Zavedení do českého právního systému 406/2000 Sb.
23. dubna 2009	Směrnice Evropského parlamentu a Rady 406/2009/ES ze dne 23. dubna 2009 o úsilí členských států snížit emise skleníkových plynů, aby byly splněny závazky Společenství v oblasti snížení emisí skleníkových plynů do roku 2020
21. října 2009	Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES ze dne 21. října 2009 o stanovení rámce pro určení požadavků na Ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie (směrnice ErP) [28]
30. března 2011	Nařízení komise (EU) č. 327/2011 ze dne 30. března 2011, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na Ekodesign ventilátorů poháněných elektromotory s příkonem v rozmezí od 125 W do 500 kW
26. března 2013	Stanovení ročních přidělů emisí 2013-2020 v 406/2009 Sb.
7. července 2014	Nařízení komise (EU) č. 1253/2014 ze dne 7. července 2014, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na Ekodesign větracích jednotek [25]
1. ledna 2016	První stupeň požadavků na Ekodesign větracích jednotek (účinnost $\eta_{t,ZZT} \geq 67\%$ ) [25]
1. ledna 2018	Druhý stupeň požadavků na Ekodesign větracích jednotek (účinnost $\eta_{t,ZZT} \geq 73\%$ ) [25]

### 4.3. Symboly a označení

Ekologická uvědomělost a vyspělost spotřebitelů, kteří chápou potřebu ochrany životního prostředí, neustále stoupá, a proto se ekologické výrobky lépe prodávají. Právě koncoví spotřebitelé se stávají jedním z motivů pro prosazování ekonomické a ekologické úspornosti výrobků. Reagují na neustálé zvyšování cen energií snahou o co nejnižší náklady na pořízení a provoz. V neposlední řadě potom ekologický návrh nových výrobků znamená aktivní přístup ke splnění evropských požadavků 20-20-20.

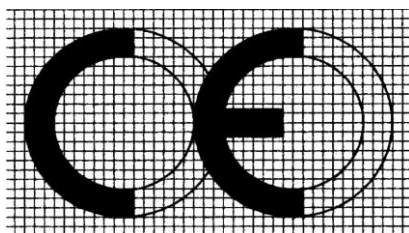
Existuje celá řada ekologických značení, jež informují spotřebitele o ekologických vlastnostech výrobku a splnění právních předpisů daných směrnicí Evropské komise pro Ekodesign. [31]



Obr. 21 Symboly a označení Ekodesignu (převzato z [32] [33] [34] [35])

#### Označení CE

Výrobky spojené se spotřebou energie, které splňují požadavky na Ekodesign stanovené ve směrnici 2009/125/ES, by měly být označeny CE (Obr. 22). Před uvedením výrobku na trh nebo do provozu je vydáno prohlášení o shodě ES, čímž výrobce nebo jeho zplnomocněný zástupce zaručuje a prohlašuje, že tento výrobek splňuje všechna příslušná ustanovení použitelného prováděcího opatření ErP. Produkty, které nesplňují požadavky směrnice ErP, spojené s přechodem na vyšší stupeň, nemohou být prodávány a označovány značkou CE. [29] V případě neoprávněného označení budou výrobci postiženi Státní energetickou inspekcí.



Obr. 22 Označení CE dle Přílohy III (převzato z [29])

## 5. Národní normy ČSN

ČSN nejsou podle platné právní úpravy obecně závazné, ovšem poskytují pravidla a směrnice pro dosažení optimálního stupně uspořádání pro obecné a opakované činnosti ve vymezených souvislostech. Ovšem některé právní předpisy odkazují na požadavky ČSN, čímž může vzniknout závaznost pro jejich plnění.

Z členství v evropských a mezinárodních normalizačních organizacích vyplývají pro Českou republiku konkrétní povinnosti a závazky, například přejímat jejich normy a zavádět je jako národní normy, včetně povinnosti rušení existujících konfliktních národních norem. Při přejímání mezinárodních norem nevyplývá závazek pro úpravy národních normy, ale může být již zaveden do evropských norem, například EN ISO. [36] Členský stát, který ze závažných důvodů týkajících se ochrany životního prostředí pokládá za nezbytné ponechat si vnitrostátní předpisy, tak může učinit. [28]

Tvorba českých harmonizovaných norem na národní úrovni je v ČR upravena tak, aby odpovídala požadavkům evropského parlamentu 2005/32/ES, a to zákonem č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, do něhož jsou implementovány požadavky Ekodesignu. Stejně požadavky a postupy jako v tomto zákoně jsou také vyžadovány zákonem č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky ve znění pozdějších předpisů. [37]

Předmětem činnosti ES je mimo jiné normalizace terminologie, metod zkoušení a hodnocení, dimenzování systémů přirozeného a nuceného větrání. [36] Pro technický návrh jsou vždy nejpodstatnější přílohy obsahující konkrétní požadavky na parametry posuzovaných zařízení, cílový stav, také shrnují postupy posuzování shody, včetně přesného popisu potřebných měření a výpočtů. [37]

Podrobně se věnují jednotlivým zařízením a provozům například tyto české normy:

ČSN 730540-2 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky

ČSN EN 15665 (12 7021) Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov

ČSN EN 13779 (12 7007) Větrání nebytových budov – Základní požadavky na větrací a klimatizační systémy

## 6. Závěr teoretické části

U moderních nízkoenergetických budov, kde vzduchotechnika je nedílnou součástí, se již nesetkáváme tak často s otázkou, zda použít zpětné získávání tepla, ale jakou konstrukci použít pro danou aplikaci a režim provozu. [12]

Prvořadá snaha o dosažení pouze maximální účinnosti, bez racionálního přístupu k zohlednění provozních parametrů, by nepřinášela profit pro ekonomický provoz zařízení. Cílem každého návrhu by mělo být řešení, zohledňující fyzikální, ekonomické i mechanické vlastnosti výměníku. Vzhledem k velkému množství variant, není jednoduché zvolit ideální způsob předávání energie. Často se jedná o kompromis, kdy je důležité porovnat výhody a nevýhody jednotlivých systémů a jejich funkčnost pro danou aplikaci. Zároveň je nutné také dodržet předepsané právní předpisy. [9]

Za posledních několik let se snaha o snížení energetické náročnosti, nejen s oblastí stavebnictví, ale také ve všech sférách lidské činnosti, stala prvořadým cílem.

Zavedení Ekodesignu směřuje primárně k efektivnějšímu využívání elektrické energie a minimalizaci spotřeby materiálů a energií v celém životním cyklu výrobku. V důsledku povedou tyto změny ke snížení nepříznivých dopadů na životní prostředí a významným úsporám energií.

Přirozený vývoj vede nejen ke zvyšování účinnosti spotřebičů, ale také ke snížení jejich spotřeby v provozním režimu, popřípadě i ve vypnutém pohotovostním stavu.



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

### **B) Aplikace tématu na zadané budově koncepční řešení**

#### **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

#### **AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Jiří Otava**

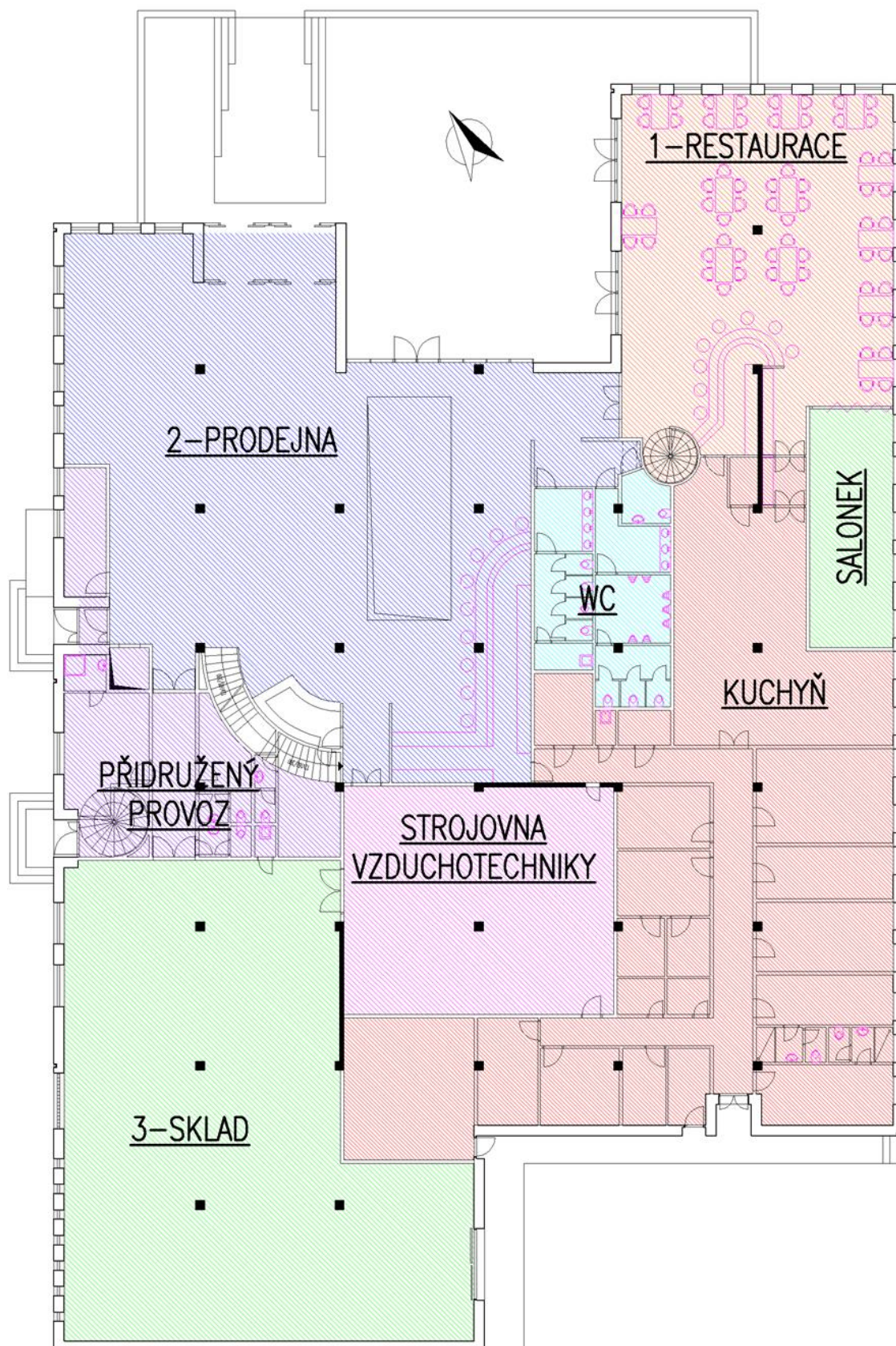
#### **VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.**

**BRNO 2017**

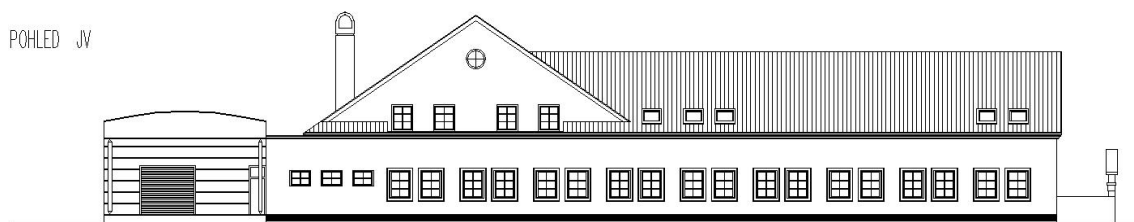
## Dispoziční schéma řešené části objektu



Obr. 23 Dispoziční schéma řešené části objektu

## 1. Analýza objektu

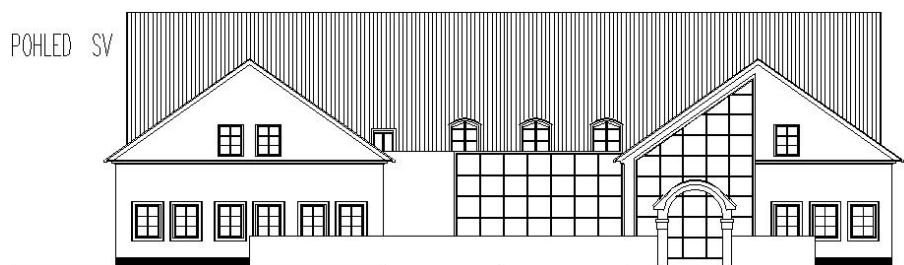
Objekt polyfunkčního domu byl ideově zasazen do okrajové části Brna v katastrálním území Brno Řečkovice do ulice Novoměstská v nadmořské výšce 248,944 m. Nosnou konstrukci tvoří železobetonový skelet se sloupy a ztužujícími stěnami založenými na železobetonových patkách. Vodorovná stropní konstrukce je tvořena železobetonovou stropní deskou tloušťky 220 mm. Nosný obvodový plášť je tvořen keramickými broušenými cihlami o tloušťce 450 mm. Nenosné vnitřní dělicí stěny jsou též z keramických broušených cihel o tloušťce 150 mm.



Obr. 24 Jihovýchodní pohled

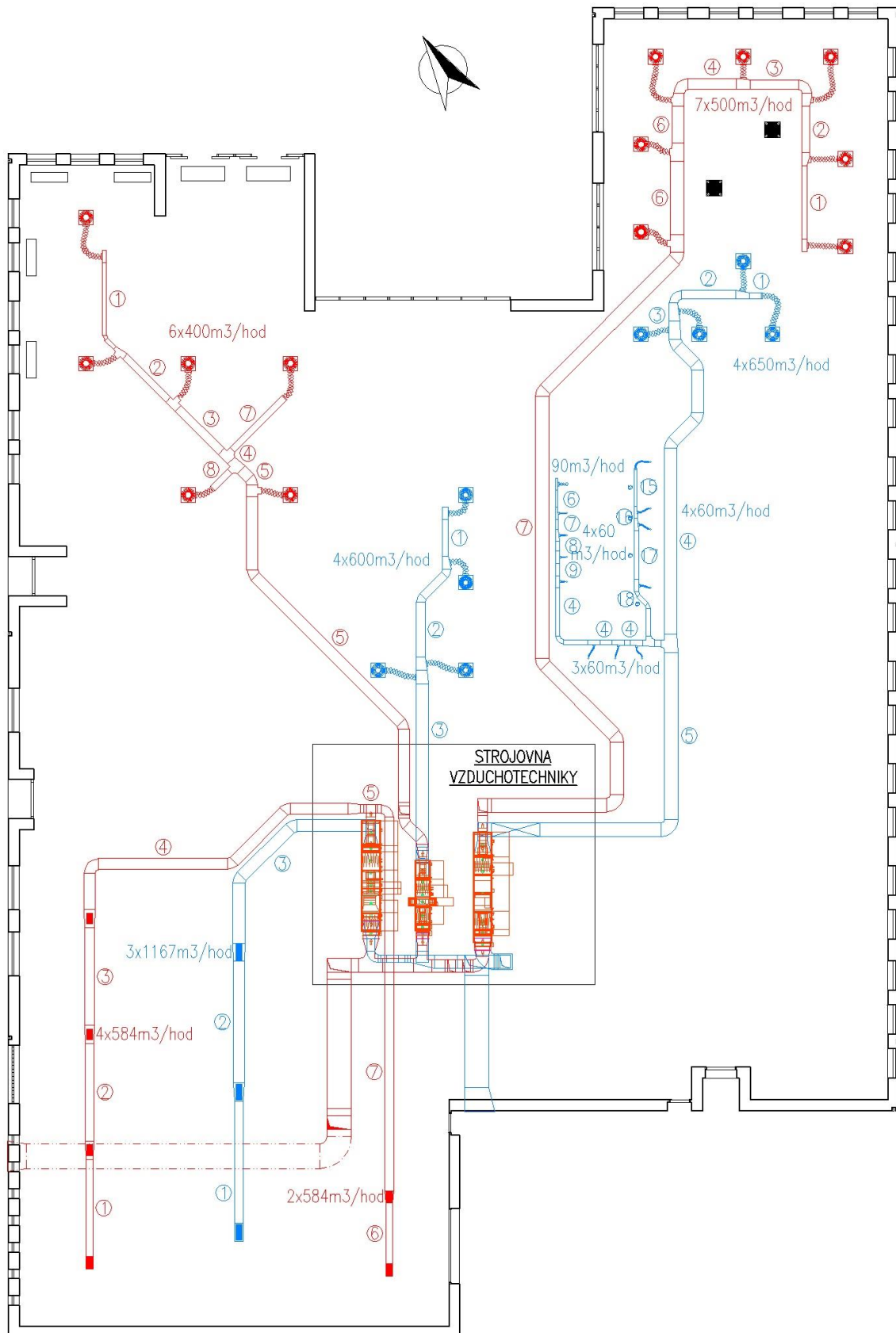
Řešeno bylo první nadzemní podlaží objektu, do něhož je v severní části situována prodejna čokolády s obslužným pultem. K prodejně přísluší přidružené prostory hygienického zázemí personálu. V západní sekci, která provozně navazuje na prodejní část, je umístěna skladovací hala s řízením vlhkosti pro optimální skladování zboží. Ve východní části objektu se nachází restaurace s barem a salónek, jež je od restaurace oddělen. K restauraci přísluší kuchyň s přílehlými prostory pro uskladnění nezbytných surovin a zázemí kuchyňského personálu. Ve středu je situováno hygienické zařízení pro užití návštěvníky restaurace i zákazníky prodejny. Vnitřní klima zajišťují centrální vzduchotechnické jednotky umístěné ve strojovně vzduchotechniky nacházející se uprostřed objektu. Restaurace je určena pro 70 osob, obchod s cukrárnou pro 80 osob a ve skladu je uvažováno s 5 pracovníky obsluhy. Celé druhé nadzemní podlaží zabírá ubytovací zařízení s příslušnými prostory pro ubytované hosty hotelu.

V 1.NP je brána konstrukční výška podlaží 3,85 m a světlá výška stropní konstrukce 3,0 m. Prostor pro instalaci zařízení a vedení vzduchotechnického potrubí je vymezen kazetovým podhledem zavěšeným 0,5 m pod stropní konstrukcí.



Obr. 25 Severovýchodní pohled

## Uspořádání vzduchotechnických jednotek a rozvodů řešeného objektu



Obr. 26 Uspořádání VZT jednotek a rozvodů řešeného objektu

## 2. Rozdělení objektu na jednotlivé zóny a základní koncepční řešení jednotek

V objektu se nachází několik provozů, které na sebe částečně navazují nebo jsou na sobě nezávislé (viz Obr. 23). Členění do jednotlivých zón je nutné dodržet pro zajištění požadovaného mikroklima jednotlivých provozů. Každá řešená zóna je obsluhována vlastním vzduchotechnickým zařízením (viz Obr. 26)

Centrální vzduchotechnické jednotky byly navrženy v AeroCADu, jenž je softwarovým nástrojem firmy Remak. Byla zvolena zařízení z modelové řady AeroMaster XP ve vnitřním provedení na základovém rámu, která se hodí pro požadované provozy. Distribuce vzduchu je realizována pomocí čtyřhranného potrubí z pozinkovaného plechu s tepelně akustickou izolací. Připojení jednotlivých plenum boxů vířivých vyústí k potrubí je provedeno pomocí kruhového flexibilního potrubí. Ve strojovně bude na veškerém vzduchotechnickém potrubí provedena systémová izolace pro snížení požárního rizika a akustického tlaku, pomocí minerálních desek s hliníkovou folií s požární odolností EI90. Společné pro všechna zařízení je sání čerstvého a výfuk znehodnoceného vzduchu, vedeného prostorem pod stropem ze strojovny vzduchotechniky přes sklad, ukončeného protidešťovou žaluzií. Provoz VZT jednotek bude řízen systémem MaR WebClima.

Prostory, příslušející ke kuchyni restaurace, společně s přilehlými prostory pro uskladnění surovin a zázemí personálu, by byly řešeny vlastním zařízením. Stejně tak salónek a další přidružené prostory zde nebyly řešeny. Větší pozornost zde bude věnována variantnímu řešení pro zónu VZT 2 Prodejna.

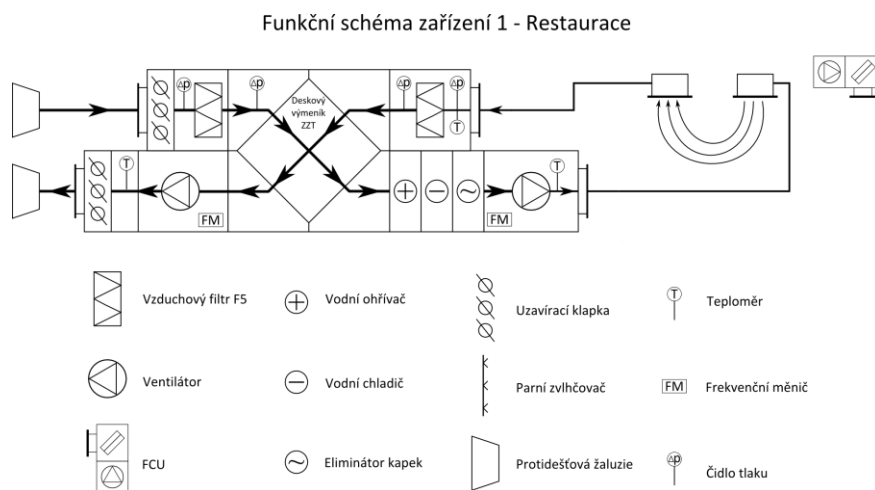
## 2.1. VZT1 Restaurace

Pro provoz Restaurace je uvažováno se 70 osobami strážníků a personálu. Pro dodržení hygienických potřeb výměn vzduchu byla stanovena dávka vzduchu  $50 \text{ m}^3/\text{osobu}$ , tedy celkově  $3500 \text{ m}^3/\text{hod}$ . Prostor je v letním období značně tepelně zatížen ze tří stran osazenými okny a terasovými dveřmi. Pro pokrytí tepelné zátěže od osob a insolace je tedy navržen kombinovaný klimatizační systém. Centrální jednotka AeroMaster XP pokrývá větší část zátěže a zbytek zajišťují stropní fancoily. Jako koncové elementy byly zvoleny čtvercové vyústě s vířivým výtokem vzduchu. Přívod obstarává skupina sedmi vyústí s 24 lamelami a odvod čtveřice vyústí s 48 lamelami. Přívodní vyústě jsou rozmístěny nad stoly a odvod je nad barem. Distribuce vzduchu je řešena vzduchovody, umístěnými ve stropním podhledu, které jsou tepelně zaizolovány pro zajištění dopravy přiváděného vzduchu o požadované teplotě a zamezení povrchové kondenzace. Izolace z minerální vlny tloušťky 50 mm s hliníkovou folií je navržena na straně přiváděného vzduchu od stroje až k poslednímu koncovému elementu.

K této zóně také přísluší hygienické zařízení pro zákazníky restaurace, pro které jsou zvoleny talířové ventily na odvod znehodnoceného vzduchu. Tlakové poměry v této zóně jsou nastaveny tak, že toalety jsou odvětrávány podtlakově a úhrada odvedeného vzduchu je dodána skrze stěnové mřížky z přetlakově větrané restaurace.

VZT jednotka se skládá z těchto komponentů: tlumící vložky, uzavírací klapky, jednostupňové filtrace F5 na přívodu i odvodu, deskového rekuperátoru ZZT - protiproudého, sekce vodního ohříváče, vodního chladiče a eliminátoru kapek, sekce ventilátoru se spinální skříní. Jednotka je napojena na centrální sání a výfuk vzduchu.

Zde se neuvažovalo o změně deskového rekuperátoru za jiný. Rotační výměník by dosahoval vyšších účinností, ovšem netěsnostmi by docházelo ke kontaminaci pachy z odváděného vzduchu, které by mohly být přeneseny i ve vlhkosti. U entalpického výměníku by mohlo docházet k rychlému zanesení jeho struktury a prudkému zhoršení (degradaci) jeho vlastností. Proto je deskový výměník nejvhodnější volbou pro tento provoz.



Obr. 27 Funkční schéma VZT1 Restaurace

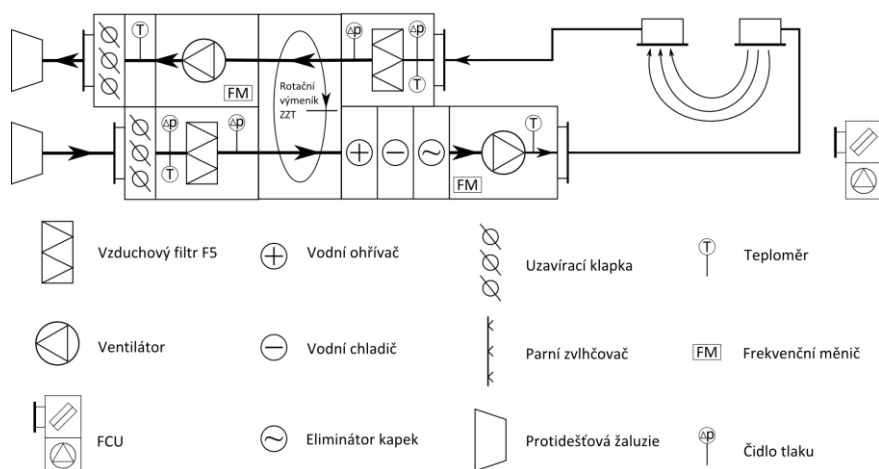
## 2.2. VZT2 Prodejna

Tato zóna kombinuje provoz prodejny čokolády s konzumací u obslužného pultu. Uvažuje se zde s 40 osobami zákazníků a personálu. Do prostoru je v rovnotlakém režimu přiváděno a odváděno 2400 m<sup>3</sup>/hod pro pokrytí tepelné zátěže od prosklených ploch a také výměny vzduchu. Podobně jako pro předcházející provoz je zde navržen kombinovaný klimatizační systém s centrální vzduchotechnickou jednotkou AeroMaster XP ve strojovně a parapetními fancoily pro pokrytí nejen tepelné zátěže, ale i technologické zátěže od prodejích vitrín. V kazetovém podhledu prodejní části je umístěno šest vířivých vyústí pro přívod a čtyři pro odvod vzduchu nad pultem. Ze strojovny vzduchotechniky je vedeno v podhledu čtyřhranné potrubí, které je na přívodní větvi izolováno až k poslednímu elementu minerální vlnou tloušťky 30 mm s hliníkovou folií pro zamezení povrchové kondenzace.

Jednotka pro prodejnu se skládá z těchto komponentů: tlumící vložky, uzavírací klapky, jednostupňové filtrace F5 na přívodu i odvodu, rotačního rekuperátoru ZZT, sekce vodního ohřivače a chladiče s eliminátorem kapek a sekce ventilátoru se spínací skříní. Jednotka je napojena na centrální sání a výfuk vzduchu.

V následujících odstavcích (viz kapitola 3) bude podrobněji rozebráno variantní řešení změny rekuperátoru a porovnání vhodnosti pro tento provoz.

Funkční schéma zařízení 2 - Prodejna



Obr. 28 Funkční schéma VZT2 Prodejna

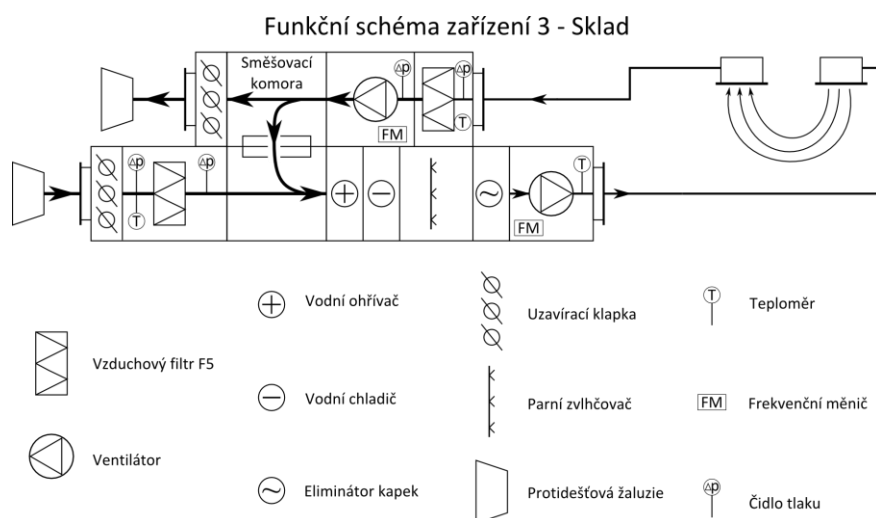
### 2.3. VZT3 Sklad

Tento provoz je specifický v požadavcích na úpravu mikroklíma. Nepředpokládá se velká koncentrace osob, ale pouze obslužný personál. Celkově je tedy možné počítat s nízkou potřebou čerstvého vzduchu. Pro pět osob pracujících ve skladu je uvažováno s výměnou 15 % čerstvého vzduchu z 3500 m<sup>3</sup>/hod oběhového vzduchu pro pokrytí tepelné zátěže, což bohatě pokryje také hygienickou potřebu pro středně namáhané zaměstnání. Pro zónu skladu je navržena centrální klimatizační jednotka AeroMaster XP s řízenou vlhkostí vzduchu pomocí parního vlhčení. V této zóně není navrženo ZZT z důvodu malé potřeby čerstvého vzduchu pro personál skladu. Je zde uvažováno pouze s cirkulací a požadovanou úpravou vzduchu. Pro rovnotlaký provoz bylo zvoleno šest dvouřadých obdélníkových vyústí pro přívod a pro odvod tři jednořadé vyústě. Pro pod stropem volně vedené čtyřhranné vzduchové potrubí není navržena tepelná izolace pro zamezení kondenzace vlhkosti.

Jednotka pro sklad je umístěna ve strojovně vzduchotechniky a skládá se z těchto komponentů: tlumící vložky, uzavíracích klapek, jednostupňové filtrace F5 na přívodu i odvodu, sekce parního zvlhčování, směšovací komory, sekce vodního ohřevače, vodního chladiče a eliminátoru kapek a sekce ventilátoru se spinální skříní. Jednotka je napojena na centrální sání a výfuk vzduchu.

Při uskladnění čokolády je nutno dodržet několik skladovacích podmínek, aby nedocházelo k znehodnocení skladovaného zboží. Toto zboží lehce absorbuje vlhkost a pachy, proto je udržování stálých podmínek a jeho větrání nezbytné. Při nevhodné teplotě pod dvanáct stupňů a náhlému střídání vlhkosti i teplot může dojít ke vzniku šedivých výkvětů. [38]

Možnou variantou by bylo použití menší ventilační jednotky pro zajištění minimální výměny vzduchu a sálavé panely ve skladu. Pro tento provoz dále nejsou varianty podrobněji rozebírány.



Obr. 29 Funkční schéma skladovací jednotky

### 3. Popis variantního řešení

V této kapitole bude naznačen variantní návrh výměníků zpětného získávání tepla pro jednu zónu, kterou je Prodejna s obslužným pultem (popsána v kapitole 2.2). Pro tento provoz je na rozdíl od ostatních vhodné navrhnout i další způsoby ZZT.

Pro ostatní provozy z různých důvodů nelze volit jinak, než bylo navrženo. Sklad využívá malé množství přiváděného čerstvého vzduchu a v Restauraci by při použití regeneračního výměníku docházelo k částečnému přenosu odpadního vzduchu.

Variantní návrh se věnuje především porovnání ZZT a související změny podmíněné změnou druhu rekuperátoru a ostatní druhořadé změny nebudou zohledněny. Okrajové podmínky jsou pro všechny varianty stejné.

Porovnávané varianty:

- Původní řešení - Rotační výměník
- Varianta V1 bez přenosu vlhkosti - Deskový výměník
- Varianta V2 s přenosem vlhkosti - Entalpický výměník

Vstupní okrajové podmínky

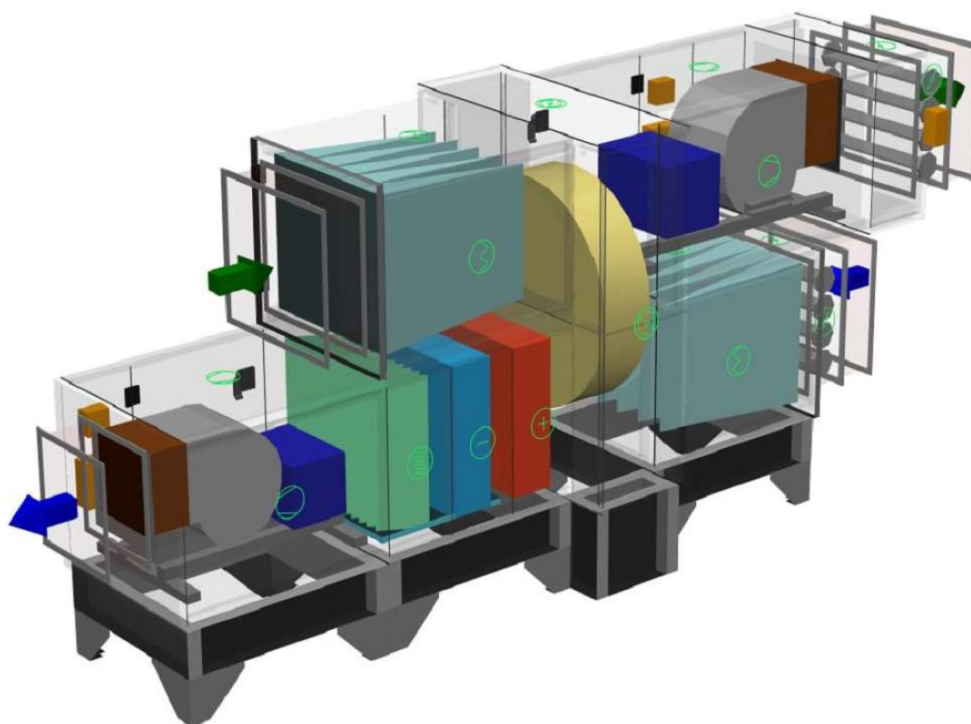
- Průtok: 2400 m<sup>3</sup>/hod.
- Návrhová vnitřní teplota:  $t_{\text{int,zima}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$        $t_{\text{int,léto}} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Návrhová vnitřní vlhkost:  $\varphi_{\text{int,zima}} = 60 \text{ } \%$        $\varphi_{\text{int,léto}} = 43 \text{ } \%$
- Návrhová vnější teplota:  $t_{\text{ext,zima}} = -12 \text{ }^{\circ}\text{C}$        $t_{\text{ext,léto}} = 29 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Návrhová vnější vlhkost:  $\varphi_{\text{ext,zima}} = 95 \text{ } \%$        $\varphi_{\text{ext,léto}} = 37 \text{ } \%$

### 3.1. Původní řešení - Rotační výměník

Pro tuto zónu bylo počítáno s využitím rotačního výměníku. Osazený rotační rekuperátor má průměru oběžného kola 770 mm, šířku 200 mm a výšku vlny 1,9 mm. Rotor je vyroben z hliníkové fólie se sorpční úpravou pro přenos vlhkosti. Výhoda této varianty spočívá v dobré účinnosti ZZT a přenosu vlhkosti. Jako nevýhodu lze brát malé množství vzduchu pronikající netěsnostmi kolem oběžného kola do přiváděného vzduchu. V tomto případě ovšem nejsou kladeny zvýšené požadavky na čistotu. Jednotka s tímto výměníkem zabírá větší šířku, ale stavba je kratší v porovnání s deskovým. Centrální jednotky mají výhodu, že hlavní zdroj akustického tlaku není přímo v obsluhovaném prostoru a servis lze provádět nezávisle na provozu obsluhované místnosti.

	zima	léto
Teplotní účinnost	73 %	72 %
Vlhkostní účinnost	74 %	63 %
Výkon citelný	18,3 kW	2,9 kW
Výkon vázaný	11,0 kW	0,0 kW
Výkon celkový	29,3 kW	2,9 kW

Tab. 1 Souhrn účinností a výkonu rotačního výměníku ZZT (viz Příloha 3)

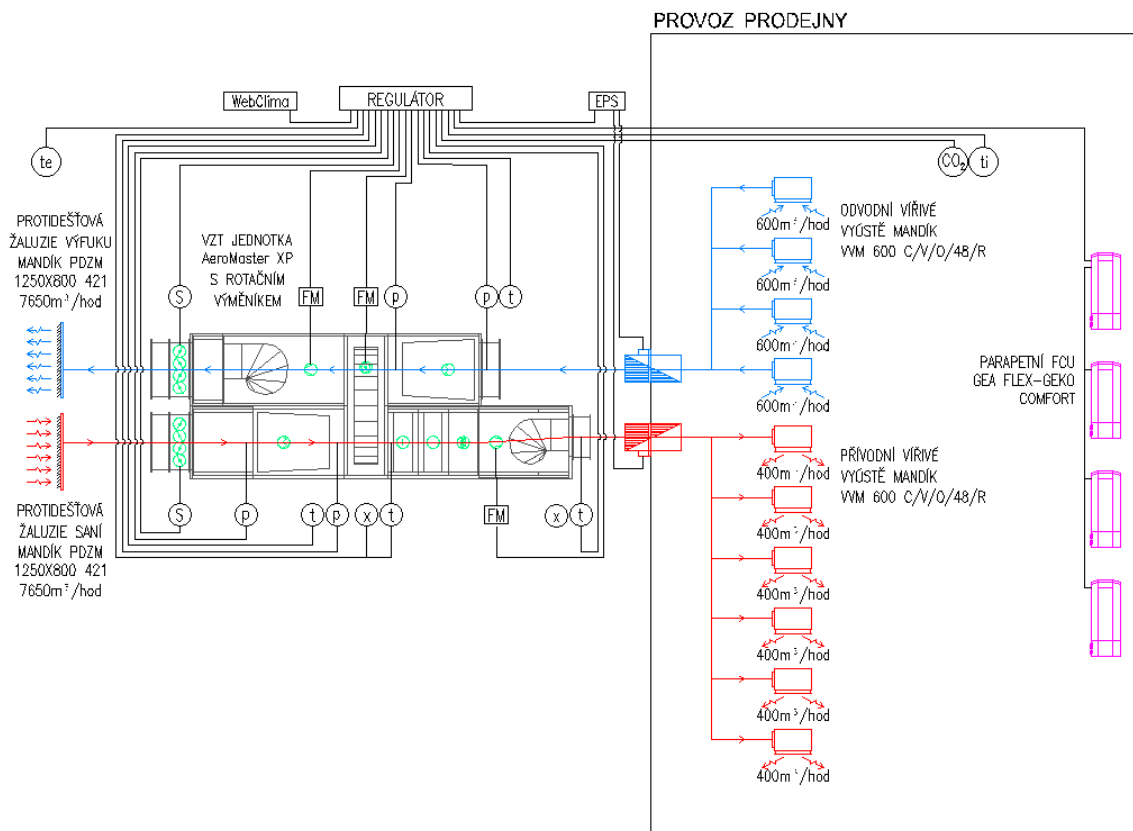


Obr. 30 Rotační výměník

Při porovnání s požadavky Ekodesignu tento výměník splňuje podmínky druhého stupně podmínek kladených nařízením komise číslo 1253/2014 platných od 1. ledna 2018.

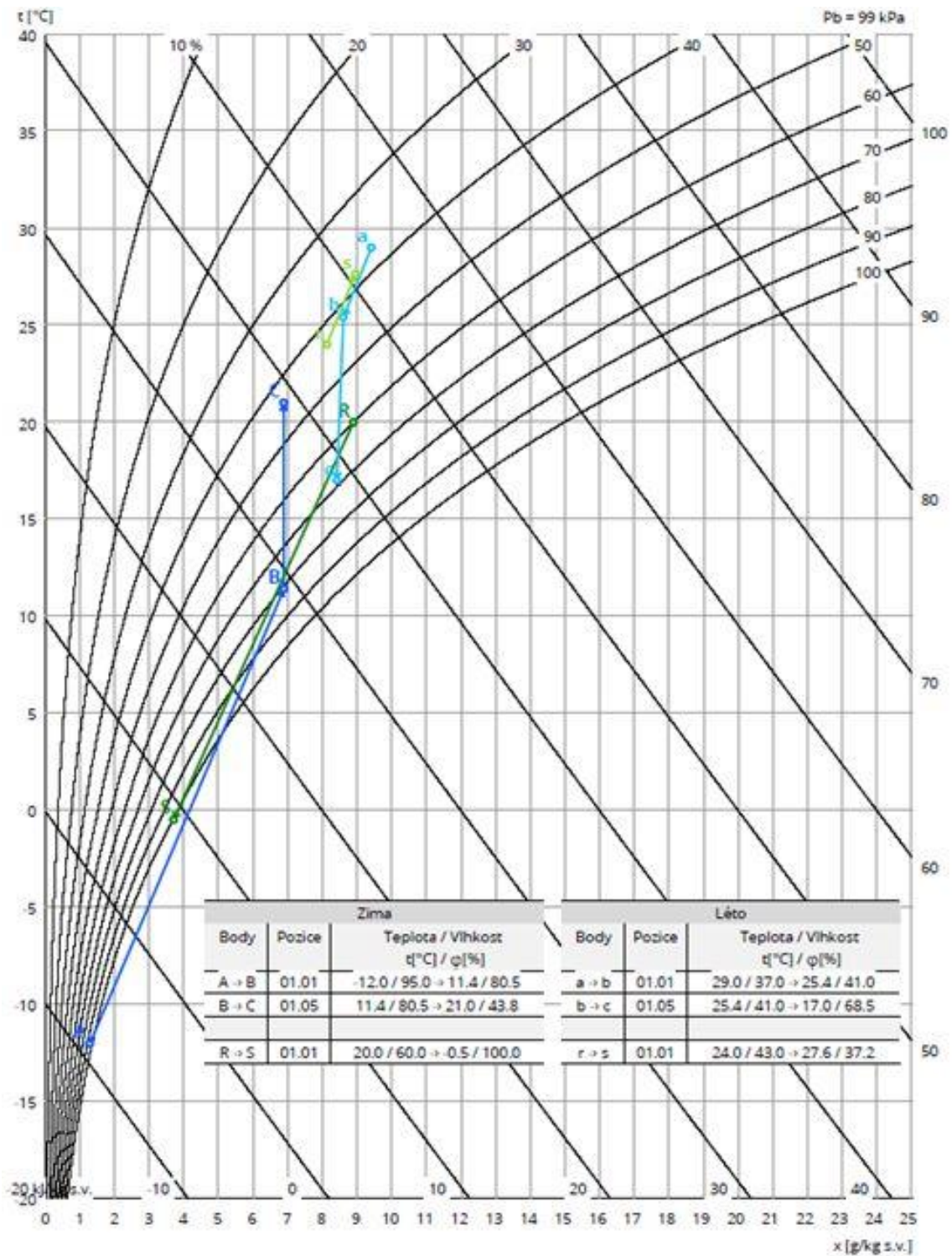
## Schéma ovládání zařízení pro původní řešení s rotačním výměníkem

### SCHÉMA OVLÁDÁNÍ ZAŘÍZENÍ



Obr. 31 Schéma ovládání zařízení pro Původní řešení - Rotační výměník

## H-X diagram Původní řešení - Rotační výměník



Graf 1 H-X diagram Původní řešení - Rotační výměník

### 3.2. Varianta V1 - Deskový výměník bez přenosu vlhkosti

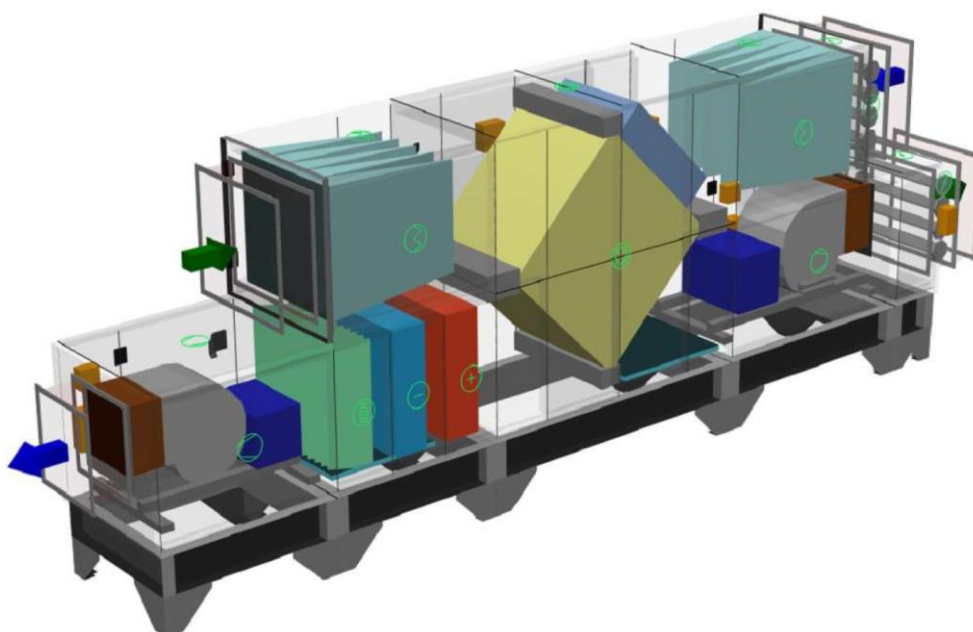
Jako první padla volba na variantu ZZT s deskovým výměníkem, který je využíván v drtivé většině zařízení, i přesto, že jeho účinnost je v porovnání s ostatními výměníky nižší, avšak díky univerzálnosti, je velice rozšířený. Zde byl vybrán pro porovnání, zda bude jeho použití výhodnější.

Na rozdíl od původního řešení s rotačním výměníkem tato varianta neumožňuje přenos vlhkosti, což je bráno jako nevýhoda. Absenci přenosu vlhkosti bude nutné kompenzovat osazením dalšího komponentu jednotky pro dovlhčení přivodního vzduchu.

Novou variantu využití deskového výměníku jsem docílil záměnou komponentů deskového výměníku ZZT, kdy změna ovlivnila celou stavbu klimatizační jednotky. Tento redesign byl proveden v softwaru AeroCAD. Nová jednotka byla vymodelována s identickými komponenty, ovšem uzpůsobena pro příslušný výměník. Vzhledem k totožnému umístění jednotky ve strojovně vzduchotechniky jsou navrženy stejné potrubní rozvody i distribuční elementy. Vstupní okrajové podmínky jsou totožné s variantou s rotačním výměníkem.

	zima
Teplotní účinnost	56 %
Vlhkostní účinnost	0 %
Výkon citelný	14,0 kW
Výkon vázaný	0,0 kW
Výkon celkový	14,0 kW

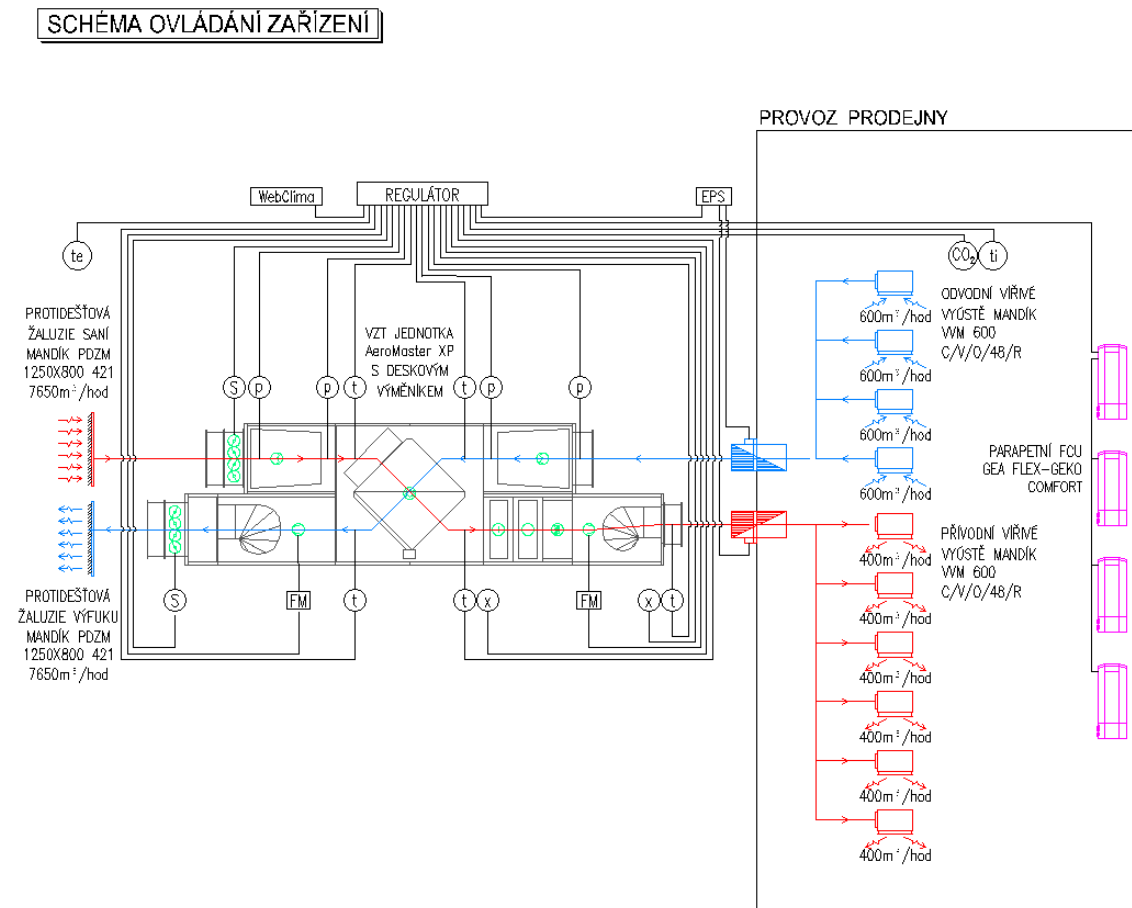
Tab. 2 Souhrn účinností a výkonu deskového výměníku ZZT (viz Příloha 4)



Obr. 32 Deskový výměník

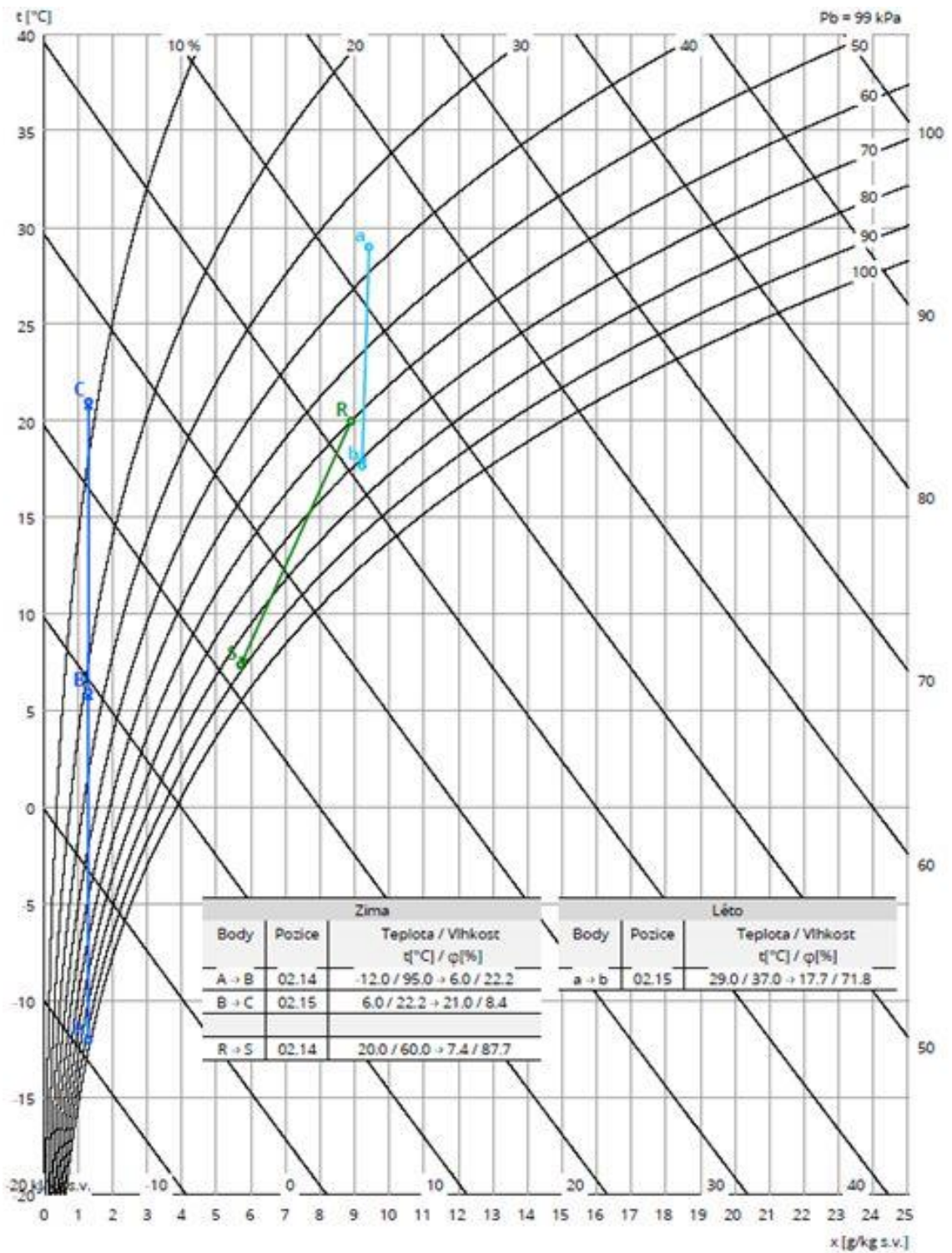
Klimatizační jednotka s deskovým výměníkem ZZT dosahuje účinnosti 56 %. Tato jednotka nespĺňuje podmínky kladené nařízením komise číslo 1253/2014 ze dne 7. července 2014. Pro splnění požadavku Ekodesignu by bylo nutné upravit jednotku tak, aby ZZT dosahovalo vyšší účinnosti. Změna rozteče lamel a snížení rychlosti by vedlo ke zvýšení účinnosti.

### Schéma ovládání zařízení pro varianta V1 s deskovým výměníkem



Obr. 33 Schéma ovládání zařízení pro Varianta V1 - Deskový výměník

## H-X diagram Varianta V1 - Deskový výměník



Graf 2 H-X diagram Varianta V1 - Deskový výměník

### 3.3. Varianta V2 - Entalpický výměník s přenosem vlhkosti

Druhou variantou by bylo použití entalpického výměníku, jenž byl měřen v kapitole C. Tyto výměníky se vyznačují dobrou tepelnou účinností spojenou s přenosem vlhkosti. Výměníky vyráběné z materiálu označovaného Lossnay (obchodní název Mitsubishi Elektronik) se vyrábějí v dimenzích vhodných pro instalaci do stropních podhledů či menších kompaktních jednotek. Tento model výměníku nelze zabudovat do velkých centrálních jednotek. Proto nelze užít stejný postup, jako u předcházející varianty s centrálním vzduchotechnickým zařízením, ale s použitím menších decentrálních jednotek.

Navržené ventilační jednotka Lossnay LGH-100RVX-E je vybavena dvěma ventilátory a entalpickým výměníkem. Bližší popis samotných jednotek, které se od měřené odlišují pouze velikostí (viz kapitola 4). Pro zajištění požadovaného objemového průtoku vzduchu není možné navrhnout pouze jednu jednotku, a proto musí být použito několik menších decentrálních jednotek, které by obstarávaly požadované mikroklima. Pomocí softwaru Mitsubishi Elektronik Lossnay selection byla zvolena dimenze jednotky a nejvhodnější koncepce se třemi jednotkami v podstropním provedení.

Tato varianta uvažuje se stejnými distribučními elementy, které však vyžadovali rozdílné trasování potrubí než z centrální strojovny. Každá jednotka má na ostatních nezávislé připojení vyústí, sání a výfuku. Přívodní potrubí pro vyústě je kruhové Spiro průměru Ø 250 mm. Pro sání čerstvého vzduchu ze severozápadní fasády a výfuk znehodnoceného vzduchu u stropního světlíku je navrženo ploché čtyřhranné potrubí, pro snadnější křížení s kruhovým potrubím, které je ukončeno žaluzií.

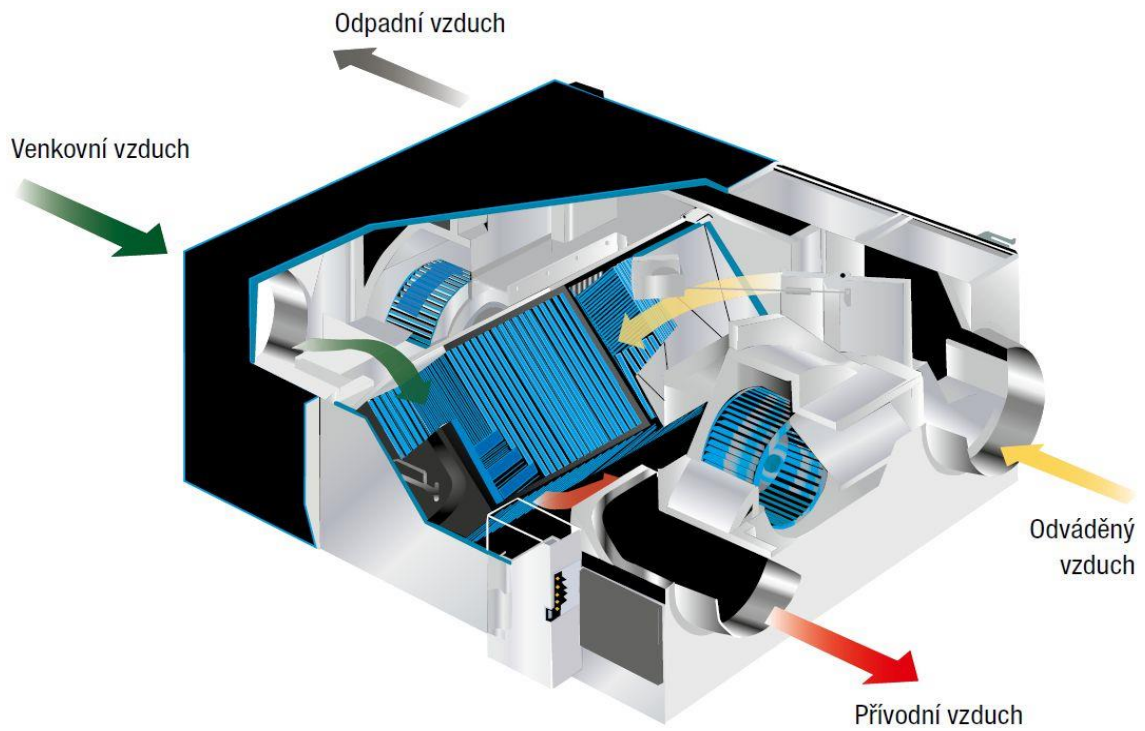
Výhoda entalpického výměníku je, že není nutné odvádět kondenzát. Protože se veškeré zařízení nachází v jednom požárním úseku, není nutné osazovat na potrubí uzavírací požární klapky.

Nevýhoda je, že zdroj hluku se nachází ukryt ve stropním pohledu obsluhované místnosti. S volbou této koncepce souvisí i způsob vytápění a chlazení. V letním období by tepelnou zátěž pokrývaly fancoily. V zimním období by přiváděný vzduch dohřívaly potrubní ohřívače spolu s fancoily.

	zima	léto
Tepelná účinnost	82,3 %	76,5 %
Entalpická účinnost	73,6 %	72,5 %
Výkon citelný	19,6 kW	3,4 kW
Výkon vázaný	10,8 kW	1,7 kW
Výkon celkový	30,1 kW	4,8 kW

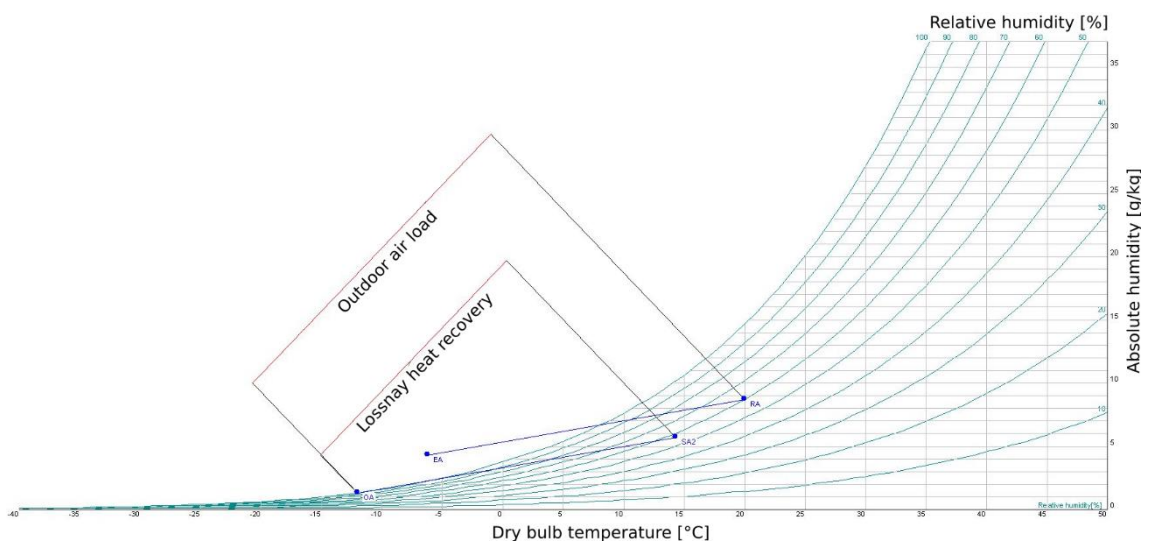
Tab. 3 Souhrn účinností a výkonu rotačního výměníku ZZT (viz Příloha 5)

Ve variantě s decentrálními jednotkami s entalpickým výměníkem umístěných pod podhledem, které umožňují přenos vlhkosti, dosahují výměníky výborných účinností, které převyšují 80 %. V této variantě výměníky splňují požadavky druhého stupně podmínek kladených nařízením komise číslo 1253/2014 platných od 1. ledna 2018.



Obr. 34 Entalpický výměník (převzato z [39])

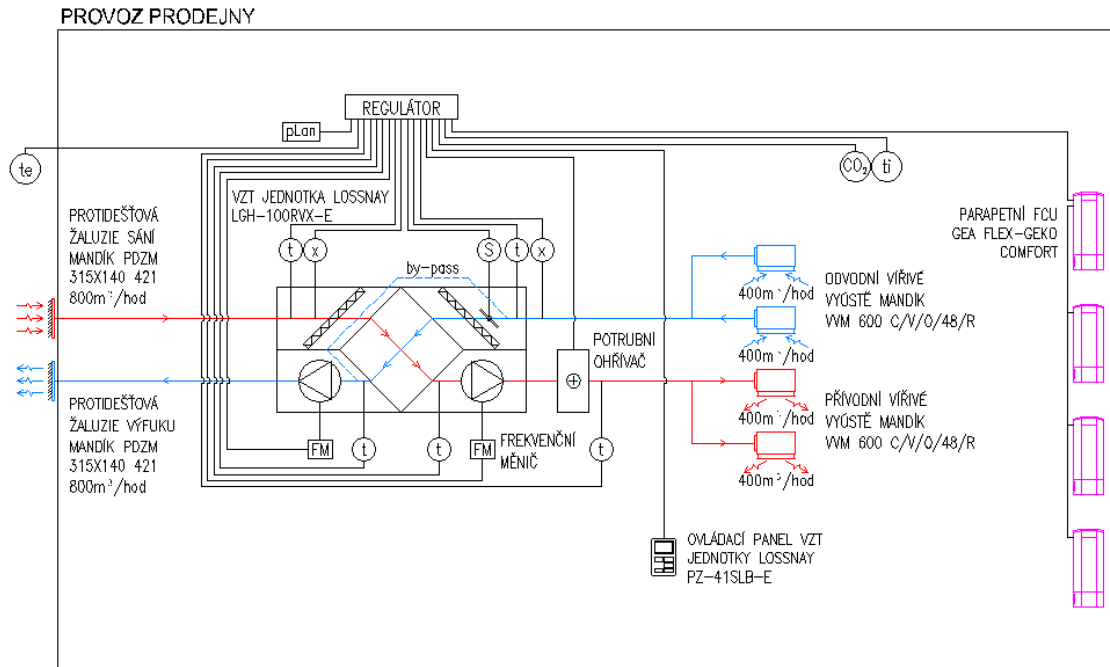
### H-X diagram Varianta V2 - Entalpický výměník



Graf 3 H-X diagram Varianta V2 - Entalpický výměník

## Schéma ovládání zařízení pro variantu V2 s entalpickým výměníkem

### SCHÉMA OVLÁDÁNÍ ZAŘÍZENÍ



Obr. 35 Schéma ovládání zařízení pro Varianta V2 - Entalpický výměník

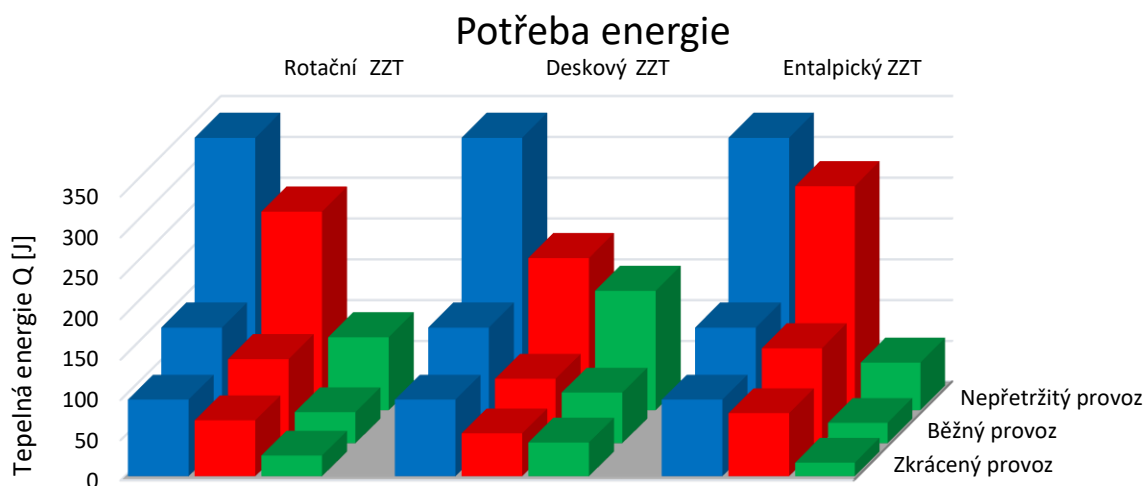
## 4. Porovnání jednotlivých variant

### 4.1. Potřeba energie

Výpočet potřeby energie byl proveden při okrajových podmínkách definovaných pro mikroklima interiéru, kde byly použity běžné vnitřní teploty a pro exteriér byly použity hodinové průběhy pro jednotlivé dny v měsíci. Byl použit vztah pomocí matematicko diskrétní denostupňové metody. [21]

$$Q = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t \cdot \eta_{ZZT}$$

$Q$	teoretická potřeba tepla na vytápění [J]
$V$	objemový průtok vzduchu za hodinu [ $\text{m}^3/\text{hod}$ ]
$\rho$	objemová hustota vzduchu [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
$c$	měrná tepelná kapacita vzduchu [ $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ]
$\Delta t$	rozdíl teplot mezi interiérem a exteriérem $\Delta t = (t_{in.} - t_{ex.})$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$t_{in.}$	vnitřní teplota objektu [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$t_{ex.}$	vnější teplota objektu [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$\eta_{ZZT}$	tepelná účinnost zpětného získávání tepla [%]



Graf 4 Potřeba energie jednotlivých variant

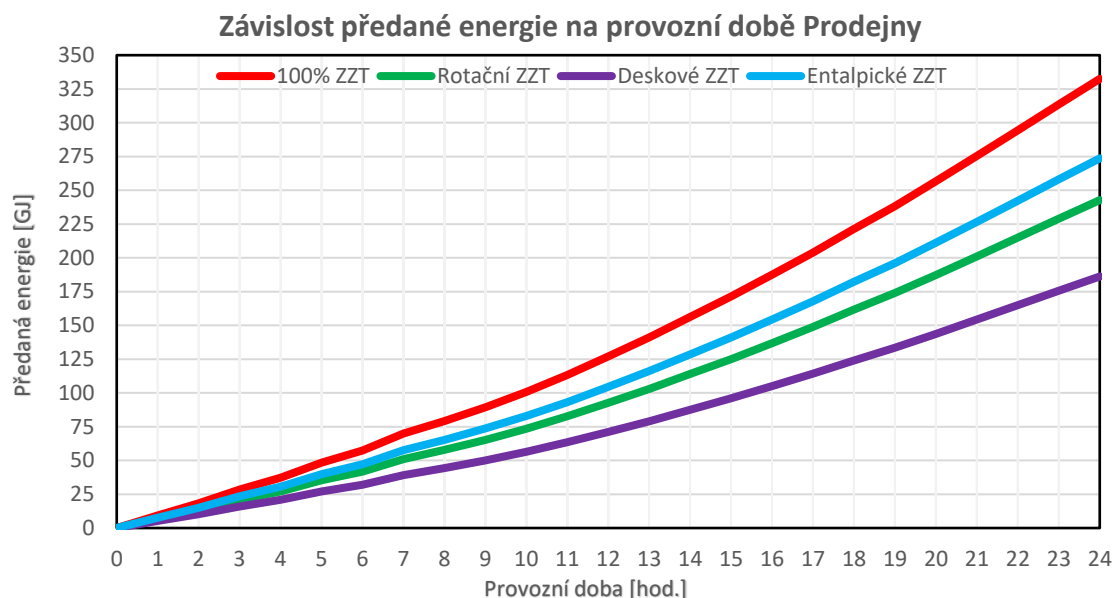
Porovnávány byly tři varianty zpětného získávání tepla. Původní s rotačním výměníkem, varianta 1 s deskovým výměníkem a varianta 2 s entalpickým výměníkem. Modré sloupce reprezentují potřebu energie, kterou je nutné dodat uvažované zóně. Červené sloupce znázorňují množství energie, která je předána zpět zóně pomocí ZZT. Zelené sloupce popisují množství energie, kterou je nutno provozu dodat pro udržení vnitřních podmínek. Porovnání bylo také vztaženo k délce provozu, kdy bylo uvažováno s čtyřia dvaceti hodinovým nepřetržitým provozem vzduchotechnického zařízení. Dále byl porovnáván běžný provoz s dobou provozu ZZT zařízení třináct hodin a zkrácený provoz s uvažovanou délkou provozu devět hodin.

Z tohoto srovnání je patrné, že nejúspornější je použití entalpického výměníku, který disponuje nejvyšší účinností zpětného získávání tepla. Naopak nejmenší úspory bude

dosaženo použitím deskového výměníku. I přes nižší účinnost rotačního výměníku, se jeho použití stále jeví jako vhodné. Do porovnání návratnosti také zasahuje délka provozu zařízení viz následující kapitola.

## 4.2. Doba provozu ZZT

Při stanovení potřeby energie je nutné zohlednit závislost na délce provozu. Tato závislost se často bere jako přímá. Zasahují do ní však podmínky, které se mění s dobou, kdy je zařízení provozováno. Například rozdíl exteriérových teplot ve výsledku ovlivní množství předané energie, kdy v noční dobu je rozdíl větší, než v denní době. Tento graf popisuje závislost předané energie ZZT na délce provozu. Je uvažován popis teoreticky stanovené doby užívání zařízení v závislosti na prodlužování doby provozu od dvanácti hodin až po nepřetržitý provoz.



Graf 5 Závislost předané energie na provozní době

Modrá, zelená a fialová křivky popisují chování jednotlivých navrhovaných variant. Pro porovnání je zde červená křivka, která popisuje idealizovaný výměník s účinností 100 %. S rostoucí dobou provozu se mění množství uspořené energie v závislosti na rozdílu teplot mezi interiérem a exteriérem. Rozdíl teplot je v nočních hodinách výraznější, proto není závislost lineární, ale mírně exponenciální. S rostoucí dobou provozu se tedy zvyšuje efektivita zařízení.

## 5. Shrnutí variantního návrhu

Problematika variantního návrhu ZZT byla řešena na objektu polyfunkčního domu. Pro vybraný provoz prodejny čokolády jsem vypracoval dvě variantní řešení s přenosem a bez přenosu vlhkosti při zachování kvality přiváděného vzduchu.

Při porovnání technických parametrů, výhod a nevýhod jsem dospěl k závěru, že optimálnější variantou je použití entalpického výměníku, který umožňuje přenos vlhkosti a dosahuje vyšší účinnosti než deskový. Varianta V2 je technicky méně náročnou variantou. Nevyžaduje umístění do prostoru strojovny VZT. Dosahuje vysokých účinností, nízkých provozních nákladů a nižších pořizovacích investic do větrání. Klade ovšem zvýšené požadavky na chlazení a vytápění.

Zavrhnout nelze ani původní řešení s rotačním výměníkem. Tento druh výměníku také umožňuje přenos vodní páry a dosahuje vysokých účinností. Vyžaduje však výrazně vyšší nároky na prostor.





# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

### C) Experimentální měření a zpracování výsledků

#### DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

#### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Otava

#### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2017

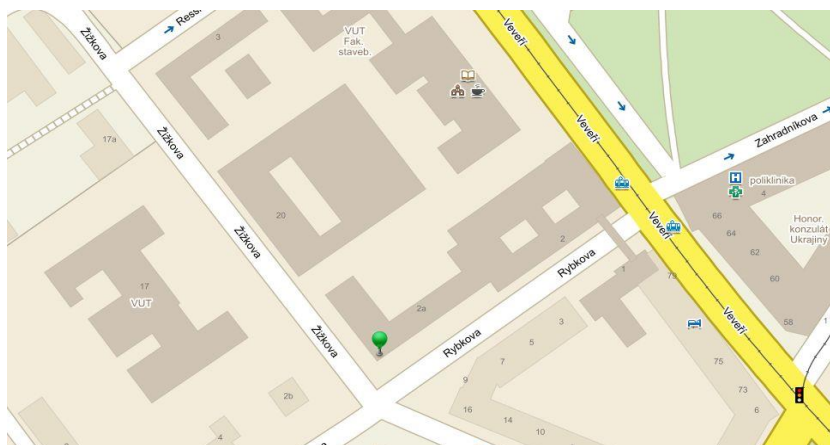
## 1. Úvod do experimentálního měření

Tato část se zabývá experimentálním měřením vybraného zařízení, kterým je ventilační jednotka s entalpickým výměníkem zpětného získávání tepla. Hlavním úkolem bylo zabezpečit naměření dat z dlouhodobého měření, jejich výpočet a srovnání získaných hodnot v porovnání s udávanými hodnotami výrobcem.

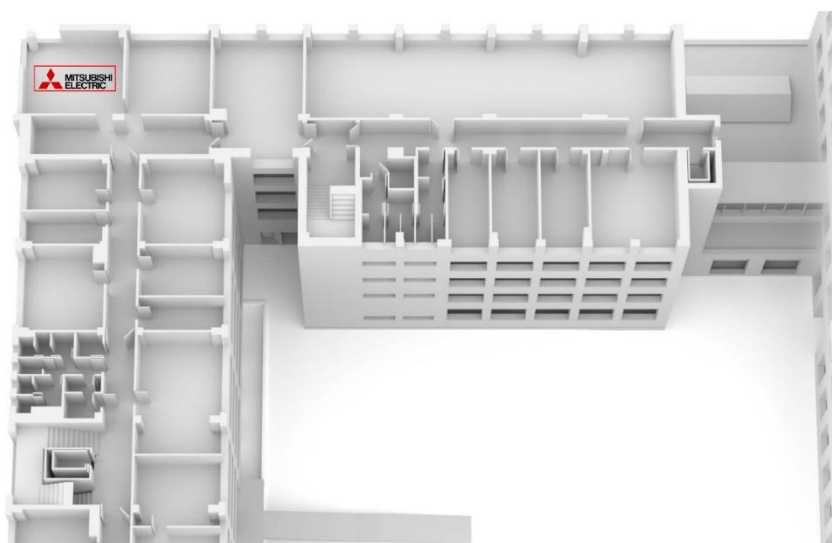
Měření by mělo popsat chování instalovaného výměníku ZZT, osazeného ve větrací jednotce Lossnay, v našich zeměpisných podmínkách. Závěry z měření by měly ukázat odborníkům i široké laické veřejnosti výhody používání entalpických výměníků tepla s přenosem vlhkosti.

## 2. Dislokace měření

Fyzický model měření experimentu se nachází v budově E1 Stavební fakulty VUT v Brně v prostorách laboratoře ústavu TZB v 5. NP. Ventilační jednotka je umístěna v jižní části této laboratoře zavěšena pod stropem.



Obr. 36 Dislokace budovy E1 Stavební fakulty VUT v Brně (převzato z [40])



Obr. 37 Plán umístění laboratoře v budově E1 (převzato z [41])

### 3. Popis fyzikálního modelu laboratoře

Ventilační jednotka Lossnay se vyrábí v podstropním provedení vhodném pro instalaci do podhledu, ovšem v tomto případě byla pouze zavěšena na závitových tyčích pod stropem laboratoře, přibližně uprostřed místnosti. Jednotka je zapojena pomocí hliníkového flexo potrubí průměru  $\varnothing 150$  mm na krátké spiro potrubí ústící do plechového sacího potrubí vzduchotechnické jednotky, nacházející se v předsíni laboratoře. Přívod sání vzduchu je realizován skrze stěnovou žaluzii na jihozápadní straně fasády. Znehodnocený vzduch podobně jako v případě sání je napojen na výfukové potrubí, které vyúsťuje do potrubí ukončeného žaluzií na jihovýchodní fasádě.



Obr. 38 Umístění a zapojení vzduchotechnické jednotky

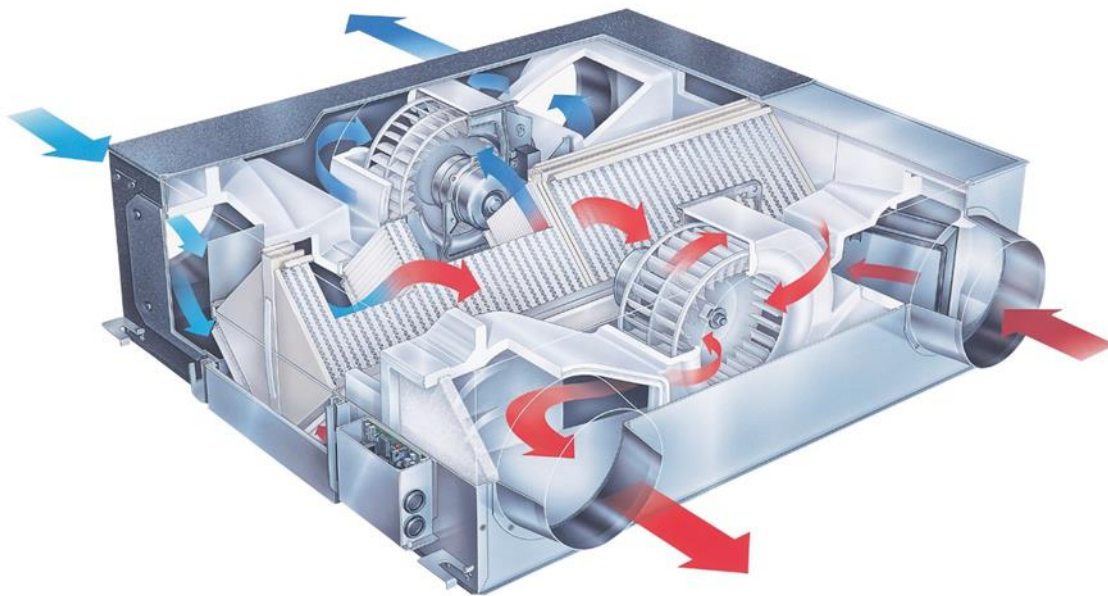
Do místnosti je vzduch distribuován papírovou čtyřhrannou vyústkou v blízkosti prosklených stěn, která je připojena flexo potrubím na ventilační jednotku. Odvod znehodnoceného vzduchu je zajištěn pouze flexo potrubím v blízkosti stěny na opačné straně místnosti.

## 4. Popis větrací jednotky

Tato jednotka vyrobená společností Mitsubishi Electric je navržena jako ucelený rekuperační vzduchotechnický systém a určena pro nucenou výměnu znehodnoceného vzduchu v případech, kdy je nevhodné nebo nedostatečné přirozené větrání, anebo to vyžaduje investor pro zkvalitnění mikroklimatu v budově.

První generace systému Lossnay byla použita již v roce 1970 a od té doby prochází neustálým vývojem s ohledem na potřeby úprav vzduchu v interiéru a inovacemi směřujícími k zefektivnění provozu. [14]

Konstrukčně je jednotka zhotovena jako samonosná kompaktní s vnějším pláštěm z pozinkovaného plechu s tenkou vrstvou pěnové tepelné izolace na většině vnější plochy zařízení. Jednotka udává hybnost vzduchu za pomoci dvojice radiálních ventilátorů s AC motory pro přívod čerstvého a odvod znehodnoceného vzduchu. Jádrem celé vzduchotechnické jednotky je křížový entalpický výměník využívající tenkou papírovou teplosměnnou plochu umožňující efektivní výměnu citelného i vázaného tepla a vlhkosti. Jednotka je vybavena klapkou na odvodu vzduchu ovládanou servopohonem pro obtok výměníku by-passem. Na přívodu i odvodu jsou umístěny filtry vzduchu třídy G3. Pro účely kontroly výměníku, výměny a čištění zanesených filtrů je vstup do jednotky umožněn snímatelnými dvířky na boku zařízení. [14]

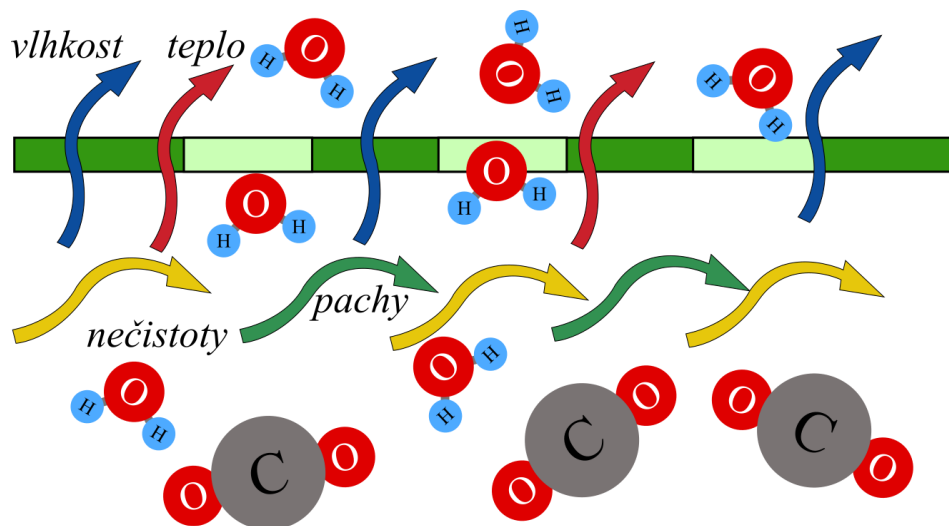


Obr. 39 Entalpický výměník (převzato z [42])

## 5. Princip mechanismu přenosu vzdušné vlhkosti

Jádrum jednotky je křížový entalpický výměník čtvercového tvaru, vyrobený ze speciálně upravené papírové membrány, s obchodním názvem Lossnay Core, který umožňuje přenos nejen citelného, ale i vázaného tepla ve vlhkosti. Což je umožněno prostupem molekul vodní páry skrz velmi malé póry tenké stěny výměníku tloušťky 25  $\mu\text{m}$ . Tato membránová konstrukce zabráňuje nežádoucímu transportu oděrových látek a oxidu uhličitého zpět do přiváděného vzduchu díky své struktuře. Tento mechanismus při výměně vzduchu zajistí snížení koncentrace  $\text{CO}_2$  a také udržení optimální vlhkosti v interiéru. Vlhkost se šíří vždy podle zákona difúze z prostoru s vyšším potenciálem do prostoru s nižším.

Na transport částic má vliv jejich kinematický rozměr a také tvar molekuly. Při porovnání molekuly vodní páry  $\text{H}_2\text{O}$  a oxidu uhličitého  $\text{CO}_2$ , kde struktura oxidu uhličitého je víc pravidelná díky lineární vazbě, oproti molekule vody s lomeným tvarem. Molekula páry je tvořena velkým atomem kyslíku a dvěma malými atomy vodíku, které jsou v porovnání s kyslíkem zanedbatelné. Celková velikost molekuly  $\text{CO}_2$ , tvořené jedním menším atomem uhlíku a dvěma atomy kyslíku, je větší než molekuly  $\text{H}_2\text{O}$ . Protože se u rotujících molekul deformují vazby a mění se jejich tvar i kinematická velikost, je pravděpodobnější, že se molekula vody transportuje skrz póry a molekula oxidu uhličitého neprojde a bude odvedena pryč. Stejně tak je zabráněno přenosu složitých molekul oděrových látek s velkou kinematickou velikostí molekul jako například benzen, čpavek nebo toluen. [14]



Obr. 40 Mechanismus přenosu molekul vody a tepla

## 6. Popis měření entalpického výměníku Lossnay

Cílem dlouhodobého měření bylo shromáždit data a provést jejich vyhodnocení. Větrací jednotka Lossnay byla měřena ve čtyřiaadvaceti hodinovém provozním režimu pro vybraná období v průběhu roku. Záznam měření byl prováděn v intervalu pěti minut.

### 6.1. Příprava měření

Před započítím měření byla jednotka vyčištěna od usazeného prachu. Filtry třídy G3 nacházející se před a za křížovým výměníkem byly vysáty od hrubších nečistot a následně vyprány v roztoku jarové vody a vysušeny před zpětným vložením. V případě papírového entalpického filtru Lossnay společnosti Mitsubishi je nepřipustné, aby došlo k jeho namočení, jako při čištění polymerových výměníků, proto byl pouze vysát vysavačem s kartáčovým nástavcem.



Obr. 41 Porovnání filtru před čištěním a po vyčištění



Obr. 42 Čištění ventilační jednotky

## 6.2. Měřicí přístroje

Pro měření laboratorního experimentu byly použity nejrůznější měřicí přístroje. Ke snímání teploty a vlhkosti vzduchu byly použity datalogery umístěné v jednotce a pro exteriérová měření stanice TUBO. Objemový průtok byl změřen balometrem.

### 6.2.1. Datalogery

Pro záznam teploty a vlhkosti v laboratoři a jednotce byla použita časosběrná čidla (datalogery) Comet S3120 (viz Obr. 43) české firmy COMET s datovým kabelem pro stahování dat do PC přes rozhraní USB. (viz Obr. 44)



Obr. 43 Datalogger Comet S3120  
(převzato z [43])



Obr. 44 Datový USB kabel (převzato z [44])

Specifikace dataloggerů Comet S3120:

Měřená veličina	Teplota, relativní vlhkost
Rozsah provozních teplot	-30°C až +70°C
Přesnost měření teploty vnitřním čidlem	±0.4°C
Přesnost měření vlhkosti vzduchu	±2.5% RH od 5 do 95% při 23°C
Rozlišení údaje o teplotě a vlhkosti	0.1°C, 0.1% relativní vlhkosti
Krytí	IP67
Rozměry bez konektorů	93x64x29 mm

[43]

### 6.2.2. *Meteostanice TUBO*

Pro měření teploty a vlhkosti v exteriéru byla využita měřicí stanice TUBO situovaná na střeše budovy B stavební fakulty směrem do ulice Rybkova. (viz Obr. 45) Meteorologické měřicí systémy byly tvořené čidly teploty vzduchu, atmosférického tlaku, relativní vlhkosti, směru a rychlosti větru, intenzity slunečního záření a přístrojem pro komplexní měření srážek. Data v reálném čase jsou odesílána přímo měřicí aparaturou do řídicích systémů a databáze EUREF. Tato stanice je též vybavena měřicím systémem permanentní družicové stanice tvořené měřicí aparaturou LEICA GRX1200PRO s anténou LEICA AT504 sloužící pro oblast Brna jako ústřední bod Brněnské sítě GPS a pro detekci malých prostorových posunů za účelem určení profilu geoidu. [45]



Obr. 45 Meteostanice TUBO (převzato z [45])

Měřenou teplotu zaznamenával odporový snímač teploty Comet NS520-120A s nejistotou měření  $\pm 0,4$  °C. [45]



Obr. 46 Měřič teploty vzduchu Comet NS520-120A (převzato z [45])

### Specifikace snímače teploty Comet NS520-120A

Měřená veličina	Teplota
Rozsah provozních teplot	-30°C až +60°C
Přesnost měření teploty vnitřním čidlem	±0.4°C
Typ čidla	Pt 1000/3850
Krytí	IP67
Délka stonku	120 mm

[46]

Exteriérová relativní vlhkost je měřena pomocí proudového snímače Comet HG421.65. Pro spolehlivost měření je provedeno duplicitní měření relativní vlhkosti kombinovaným snímačem T7310, výrobce Comet systém CZ (viz Obr. 47). [45]



Obr. 47 Proudový snímač Comet T7310 (převzato z [47])

### Specifikace proudového snímače HG421.65

Měřená veličina	Relativní vlhkost
Rozsah provozních teplot	-30°C až +60°C
Přesnost měření vlhkosti	± 2,5%

### Specifikace proudového snímače Comet T7310

Měřená veličina	relativní vlhkost, teplota, atmosférický tlak
Rozsah provozních teplot	-30°C až +80°C
Rozsah měřené relativní vlhkosti	0 až 100%
Přesnost měření relativní vlhkosti	±2.5% relativní vlhkosti od 5-95% při 23°C
Typ čidla	Pt 1000/3850
Krytí	IP54 elektronika, IP40 senzory
Délka stonku	120 mm

[47]

### 6.2.3. Balometr

Pro stanovení průtoku vzduchu pro přívod (výtlak) i odvod (odtah) byl použit multifunkční anemometr Airflow Capture Hood PH731 ProHood, který je primárně určen pro měření objemového průtoku u vířivých a velkoplošných vyústí. Využívá speciální tlakovou 16-ti bodovou oboustrannou sondu Matrix. V měřících trubicích Matrixu jsou měřicí otvory rozmístěné rovnoměrně po celém průřezu. Na základě průměrné hodnoty tlakové diference na sondě následně měřící jednotka ProHood určí objemový průtok. Zařízení je dodáváno také s množstvím příslušenství pro měření dalších parametrů. Pro měření nebyl použit vyztužený čtvercový nástavec z nylonu pro měření vířivých anemostatů, ale univerzální plátěný nástavec pro měření průtoku na kruhovém potrubí.



Obr. 48 Airflow Capture Hood PH731 ProHood (převzato z [48])

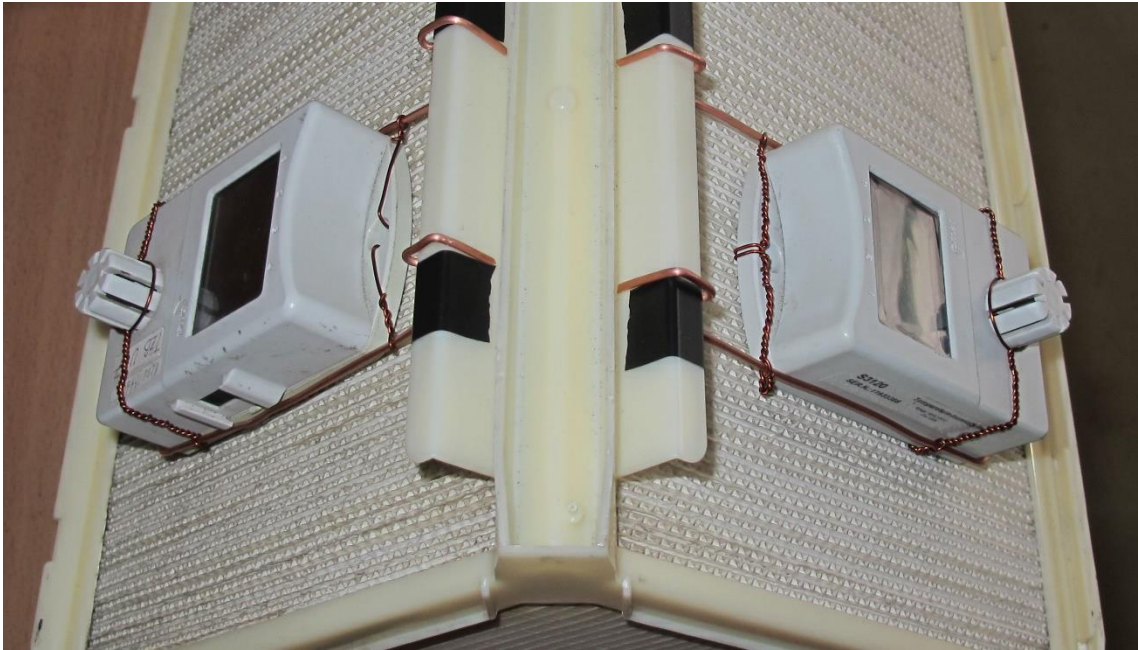
Specifikace:

Měřená veličina	Průtok vzduchu
Rozsah provozních teplot	4,4°C až 60°C
Rozsah měření průtoku	42 až 4250 m <sup>3</sup> /hod
Přesnost měření průtoku	±3% z měřené hodnoty ± (12 m <sup>3</sup> /hod), platí pro hodnoty vyšší než 85 m <sup>3</sup> /hod
Rozlišení údaje průtoku	1 m <sup>3</sup> /hod
Typy záznamu	Manuální okamžité hodnoty, Manuální průměrné hodnoty, Kontinuální s nastavitelným intervalem
Interval záznamu	Uživatelsky volitelný

[49]

### 6.3. Rozmístění čidel

Pět dataloggerů měřících jednotku v intervalu pěti minut bylo rozmístěno v laboratoři. Dva dataloggery byly položeny na dno jednotky, dva byly pomocí drátěného rámečku připevněny k výměníku Lossnay core a jeden byl zavěšen do prostoru laboratoře. Poslední snímač byl umístěn na střeše budovy B v meteostanici TUBO.



Obr. 49 Připevnění dataloggerů k výměníku



Obr. 50 Umístění dataloggerů v jednotce

## 6.4. Měření průtoku

Protože účinnost u ZZT nemusí být definována pouze pomocí teplot, je nutné zohlednit i další veličiny. Výslednou účinnost například značně ovlivňuje množství přiváděného a odváděného vzduchu. Vztah pro rovnotlaký režim a) nezohledňuje tento rozdíl v průtocích. V případě přetlakového a podtlakového režimu větrání je nutné použít vztah b), který zohledňuje ve výpočtu neshodu průtoků. Je-li poměr odváděného vzduchu větší než vzduchu přiváděného, potom roste účinnost systému ZZT. V opačném případě je tomu naopak. [8]

$$a) \eta_{t,rovnotlaké} = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_2} \quad b) \eta_{t,nerovnotlaké} = \frac{V_{odvod} \cdot [t_1 - t_2]}{V_{přivod} \cdot [t_3 - t_2]}$$

Pro měření objemového průtoku byl použit balometr Airflow PH731 ProHood s nylonovým nástavcem pro měření průtoku na potrubí popsany (viz kapitola 6.2.3).



Obr. 51 Měření průtoku vzduchu na přívodním potrubí

Naměřeny byly tři hodnoty objemového průtoku pro každý stupeň otáček pro přívodní i odvodní element a následně zprůměrovány. (viz Tab. 4)

1. stupeň otáček		2. stupeň otáček	
$V_{\text{Přívod}} [\text{m}^3/\text{h}]$	$V_{\text{Odvod}} [\text{m}^3/\text{h}]$	$V_{\text{Přívod}} [\text{m}^3/\text{h}]$	$V_{\text{Odvod}} [\text{m}^3/\text{h}]$
375	244	558	369

Tab. 4 Naměřené průměrné objemové průtoky

Tyto hodnoty se významně liší od výrobcem udávaných hodnot. Pro nižší stupeň otáček výrobce udává objemový průtok  $263 \text{ m}^3/\text{h}$ , který je pro přívod i odvod stejný. U vyššího stupně otáček je uveden průtok  $350 \text{ m}^3/\text{h}$ . Zejména tedy přívodní průtoky jsou značně vyšší než u vzduchu odváděného. Tento fakt se promítá do účinnosti, kdy pokud množství odváděného vzduchu menší než přiváděného teplotní účinnost je nižší.

Příčinou rozdílných objemových průtoků v průběhu měření mohou být nestejně tlakové poměry sacího a výfukového potrubí nebo chybné nastavení řídicí jednotky.

## 7. Vyhodnocení měření entalpického výměníku

Pro vyhodnocení byla použita obecná řešení, statistické výpočty a realizované experimenty. Po zpracování naměřených dat byly získány početní a grafické výstupy, popisující chování výměníku v závislosti na klimatických podmínkách.

### 7.1. Výpočet účinnosti

Měřená jednotka umožňuje přenos tepelné energie, ale také energie vázané ve vodní páře, která je schopna pronikat stěnou výměníku, z čehož vyplývá, že výpočet pouze tepelné účinnosti, by nebyl dostatečný. Byla tedy počítána účinnost teplotní, vlhkostní a entalpická. Výhodou entalpické účinnosti je zahrnutí nejen přenosu tepelné energie, ale i přenosu vlhkosti.

Protože byla čidla umístěna v jednotce před i za výměníkem, bylo možné vypočítat přívodní i odvodní účinnost.

Pro výpočet účinností zpětného získávání tepla byly použity tyto vztahy.

#### **Teplotní účinnost**

$$\eta_{t,\text{Přívodní}} = \frac{V_{\text{Odvod}} \cdot [t_{\text{①}} - t_{\text{TUBO}}]}{V_{\text{Přívod}} \cdot [t_{\text{③}} - t_{\text{TUBO}}]} \quad \eta_{t,\text{Odvodní}} = \frac{V_{\text{Odvod}} \cdot [t_{\text{④}} - t_{\text{⑤}}]}{V_{\text{Přívod}} \cdot [t_{\text{②}} - t_{\text{⑤}}]}$$

#### **Vlhkostní účinnost**

$$\eta_{x,\text{Přívodní}} = \frac{V_{\text{Odvod}} \cdot [x_{\text{①}} - x_{\text{TUBO}}]}{V_{\text{Přívod}} \cdot [x_{\text{③}} - x_{\text{TUBO}}]} \quad \eta_{x,\text{Odvodní}} = \frac{V_{\text{Odvod}} \cdot [x_{\text{④}} - x_{\text{⑤}}]}{V_{\text{Přívod}} \cdot [x_{\text{②}} - x_{\text{⑤}}]}$$

#### **Entalpická účinnost**

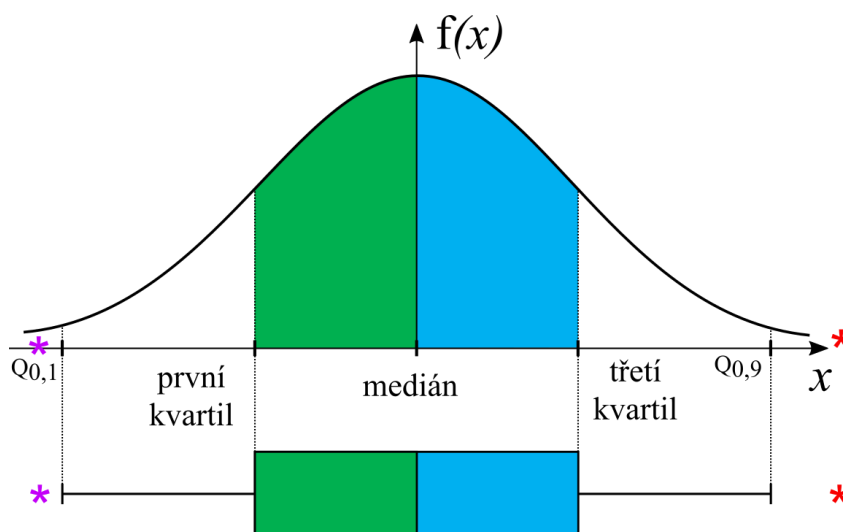
$$\eta_{h,\text{Přívodní}} = \frac{V_{\text{Odvod}} \cdot [h_{\text{①}} - h_{\text{TUBO}}]}{V_{\text{Přívod}} \cdot [h_{\text{③}} - h_{\text{TUBO}}]} \quad \eta_{h,\text{Odvodní}} = \frac{V_{\text{Odvod}} \cdot [h_{\text{④}} - h_{\text{⑤}}]}{V_{\text{Přívod}} \cdot [h_{\text{②}} - h_{\text{⑤}}]}$$

## 7.2. Boxplot

Jedná se o statistický nástroj ve formě krabicového grafu, jenž pomocí grafické vizualizace popisuje numerická data.

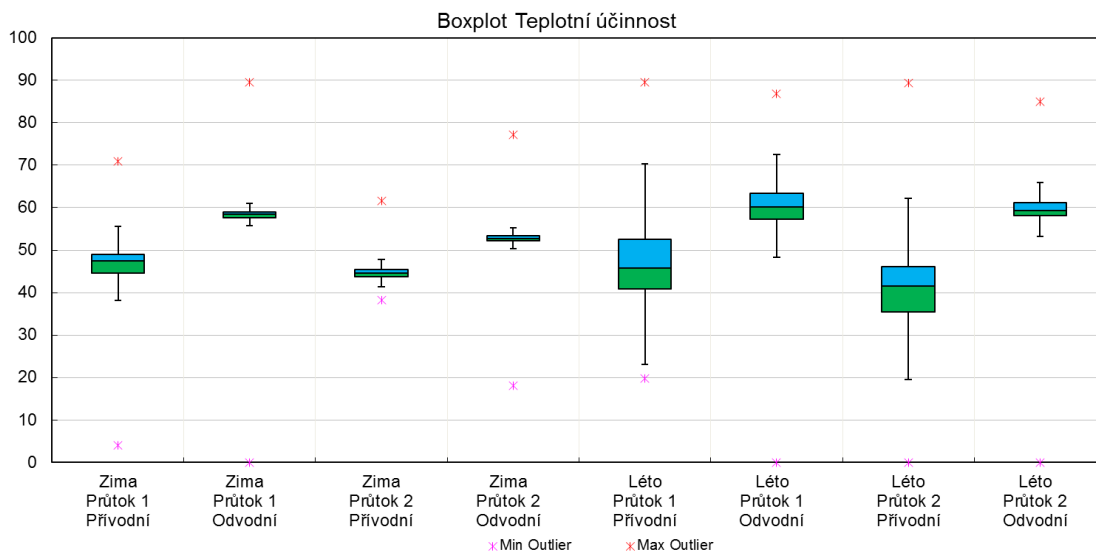
Středová část diagramu tvořená obdélníkem, který je uvnitř rozdělen linií, zobrazuje kvantily. Horní oblast patří hornímu 75% kvartilu a spodní část náleží dolnímu 25% kvartilu. Střední 50% kvantil, nazývaný medián, uvádí nejčtetnější hodnotu. Úsečky nad a pod obdélníkem, často nazývané vousy, vyjadřují variabilitu dat nad a pod kvartily. Hvězdičky, zvané outliery, reprezentují minima a maxima z dat.

Výhoda Boxplotu oproti histogramu normálního rozdělení spočívá v usnadněném porovnání více datových řad. [50]

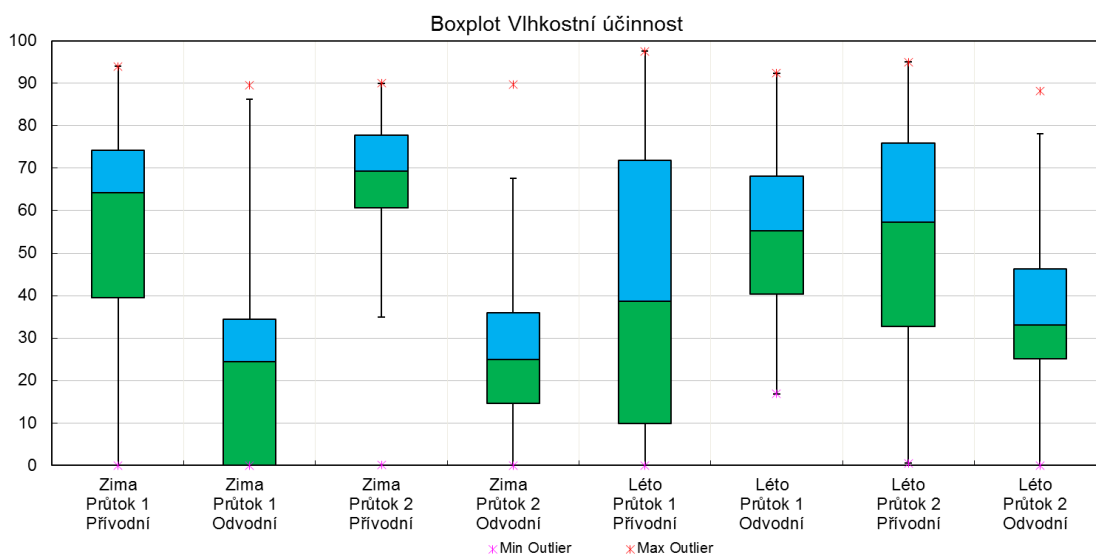


Obr. 52 Porovnání histogramu normálního rozdělení s boxplotem

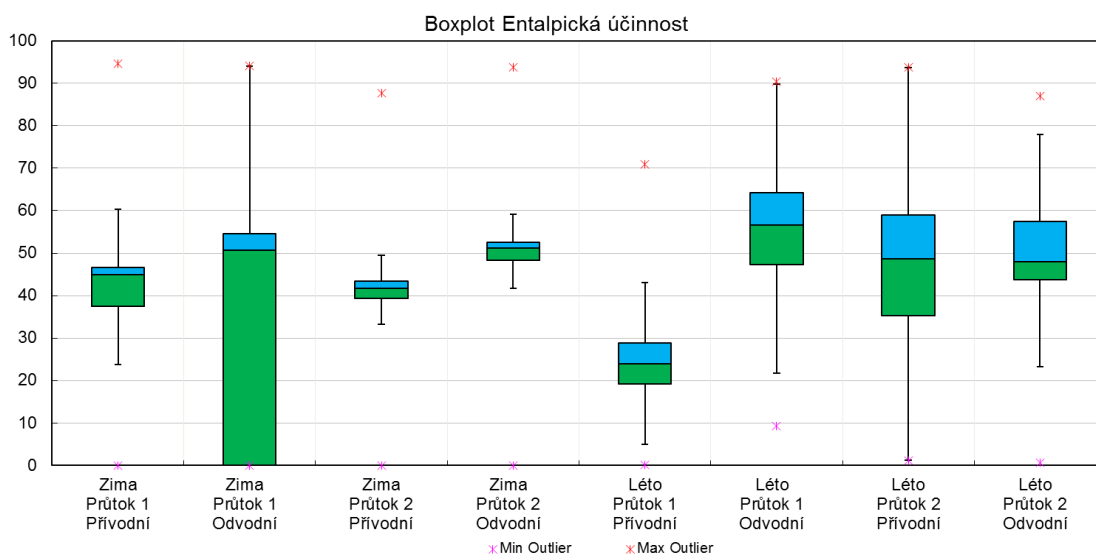
Z příložených grafů (viz strana 79) je patrné, že nejrovnoměrnější výsledky patří teplotní účinnosti, a naopak nejméně jednotné přísluší vlhkostní účinnosti. U entalpické účinnosti je patrná rovnoměrnost podobně jako u teplotní účinnosti, ovšem se zahrnutím vlhkosti dochází k rozšíření krabice. Značný vliv vlhkosti nastává v zimním období při nízkém průtoku u odvodní účinnosti.



Graf 6 Boxplot Teplotní účinnost



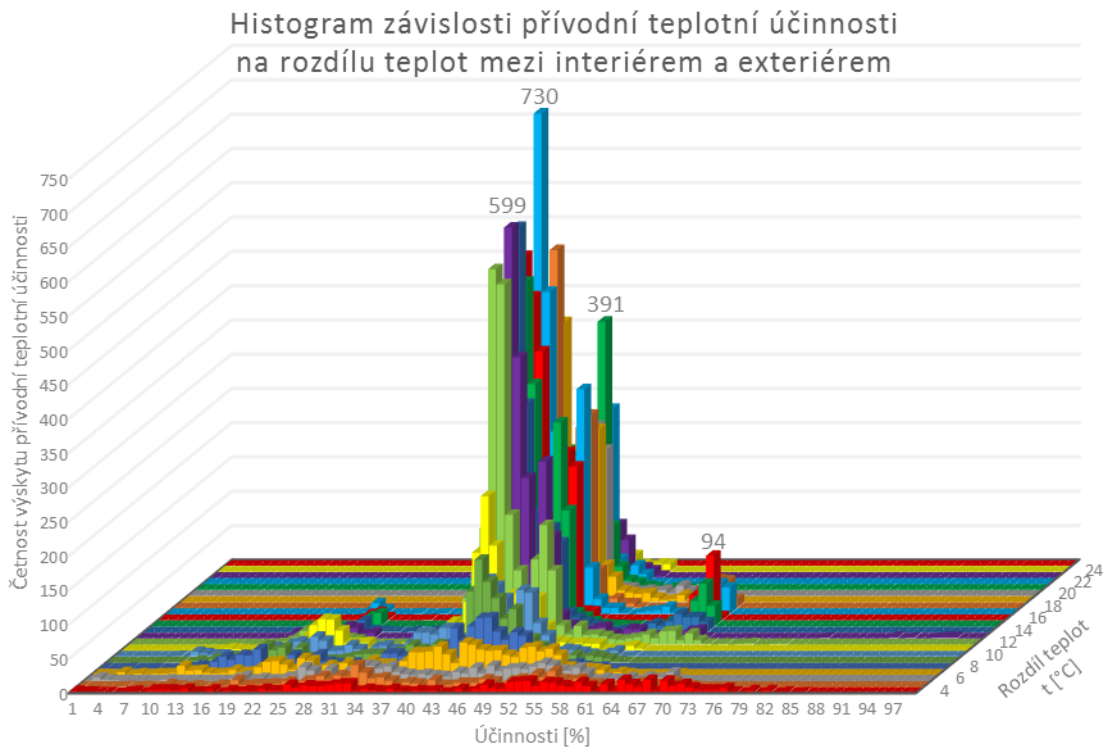
Graf 7 Boxplot Vlhkostní účinnost



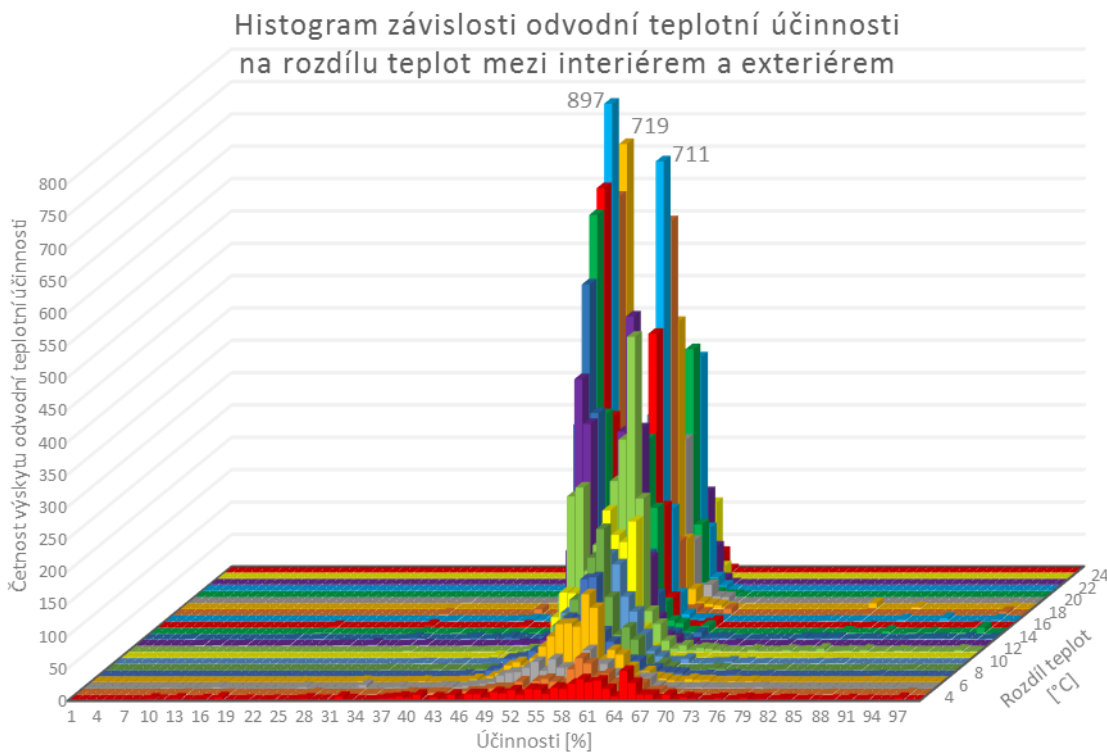
Graf 8 Boxplot Entalpická účinnost

## 7.3. Histogramy četností

### 7.3.1. Histogram teplotní účinnosti

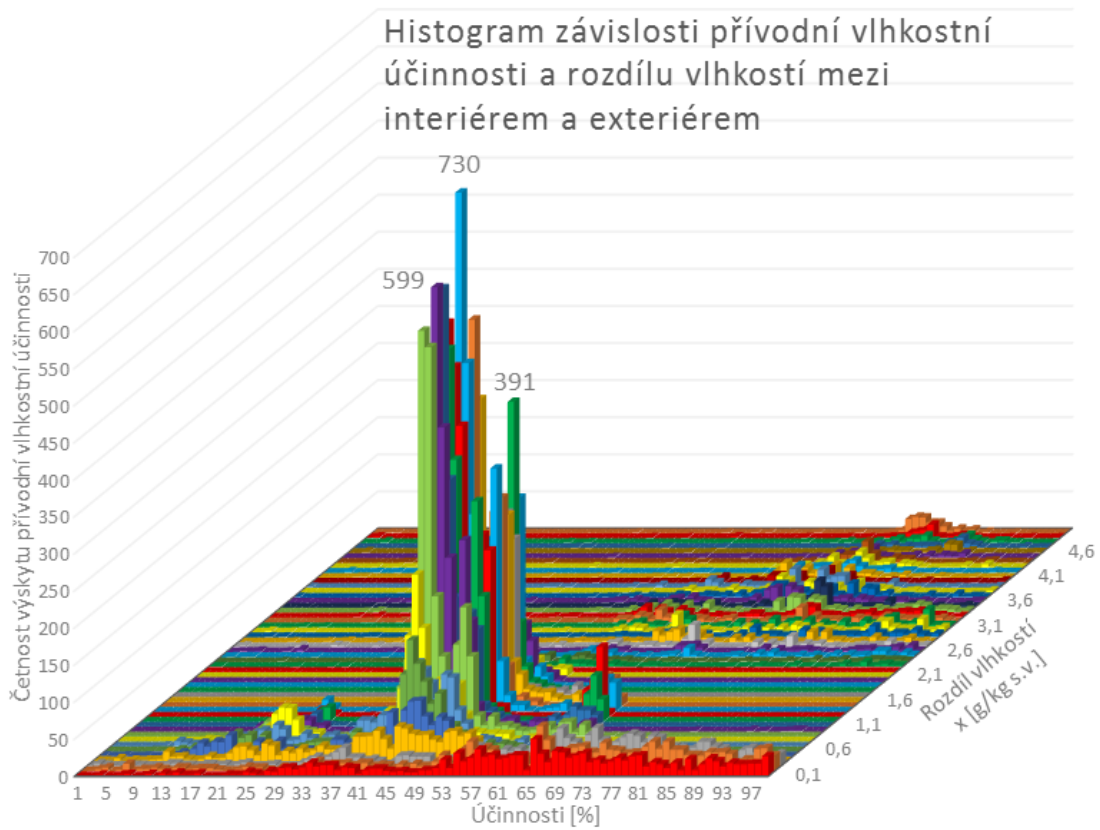


Graf 9 Histogram závislosti přívod. teplotní účinnosti na rozdílu teplot mezi interiérem a exteriérem

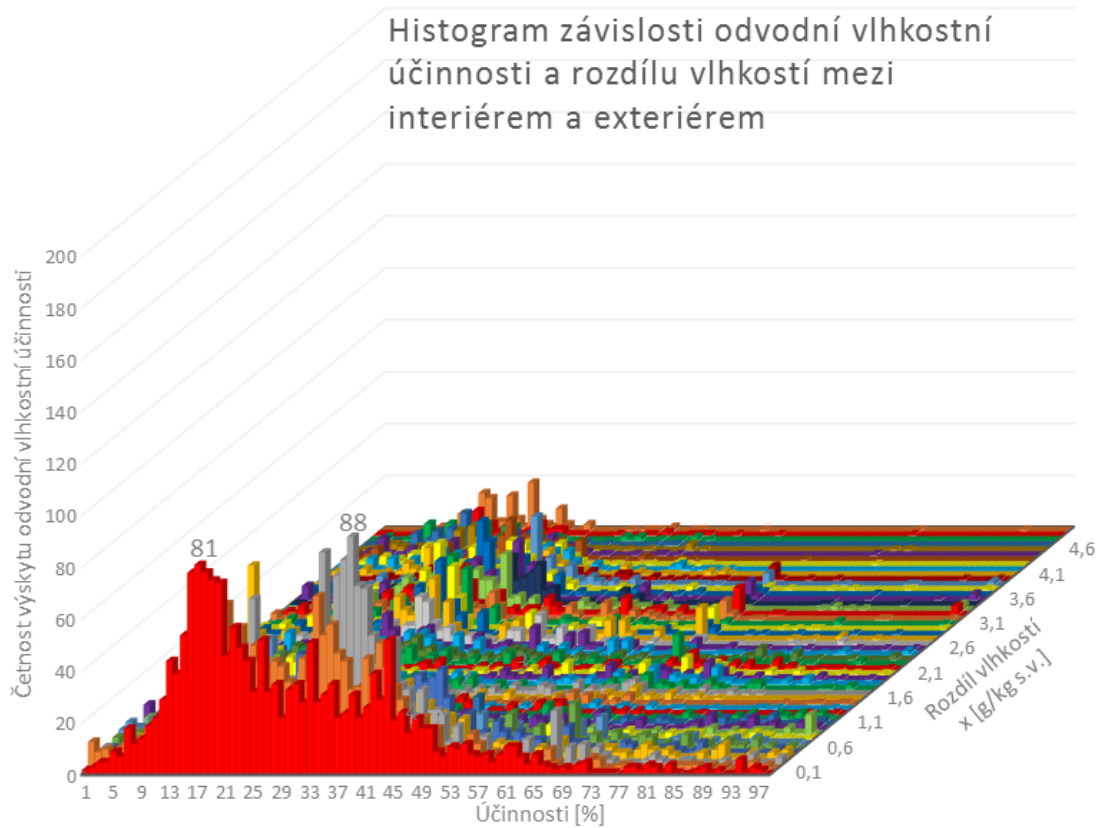


Graf 10 Histogram závislosti odvod. teplotní účinnosti na rozdílu teplot mezi interiérem a exteriérem

### 7.3.1. Histogram vlhkostní účinnosti

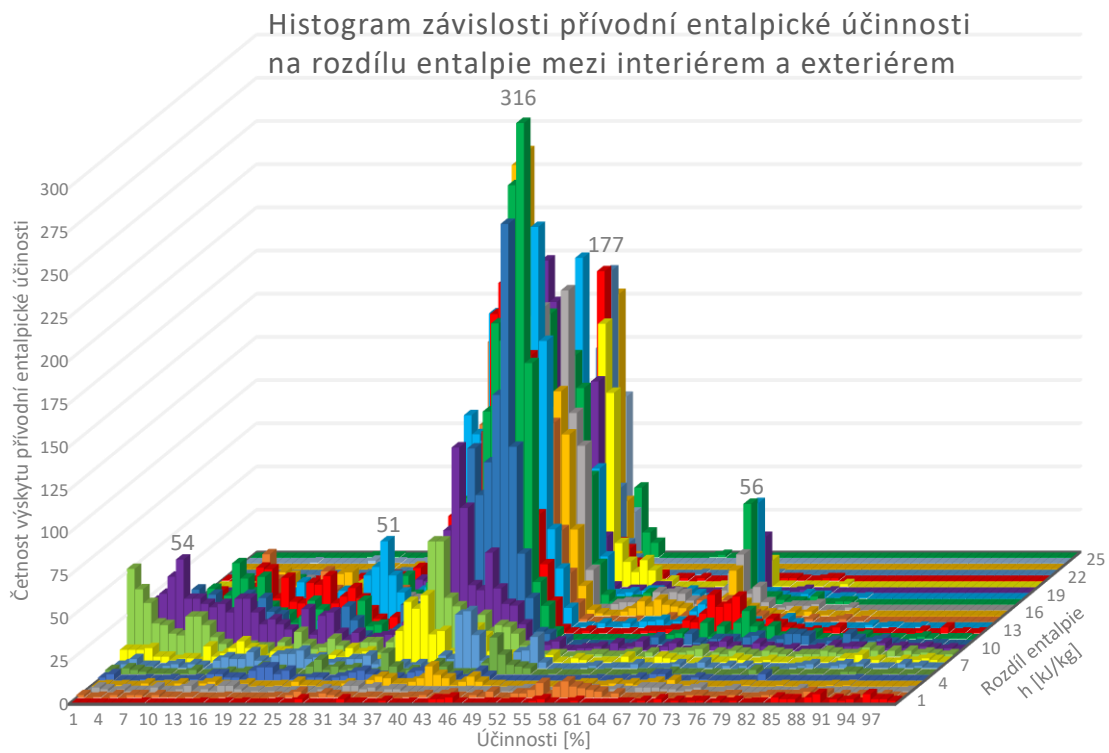


Graf 11 Histogram závislosti přívod. vlhkostní účinnosti na rozdílu vlhkosti mezi interiérem a exteriérem

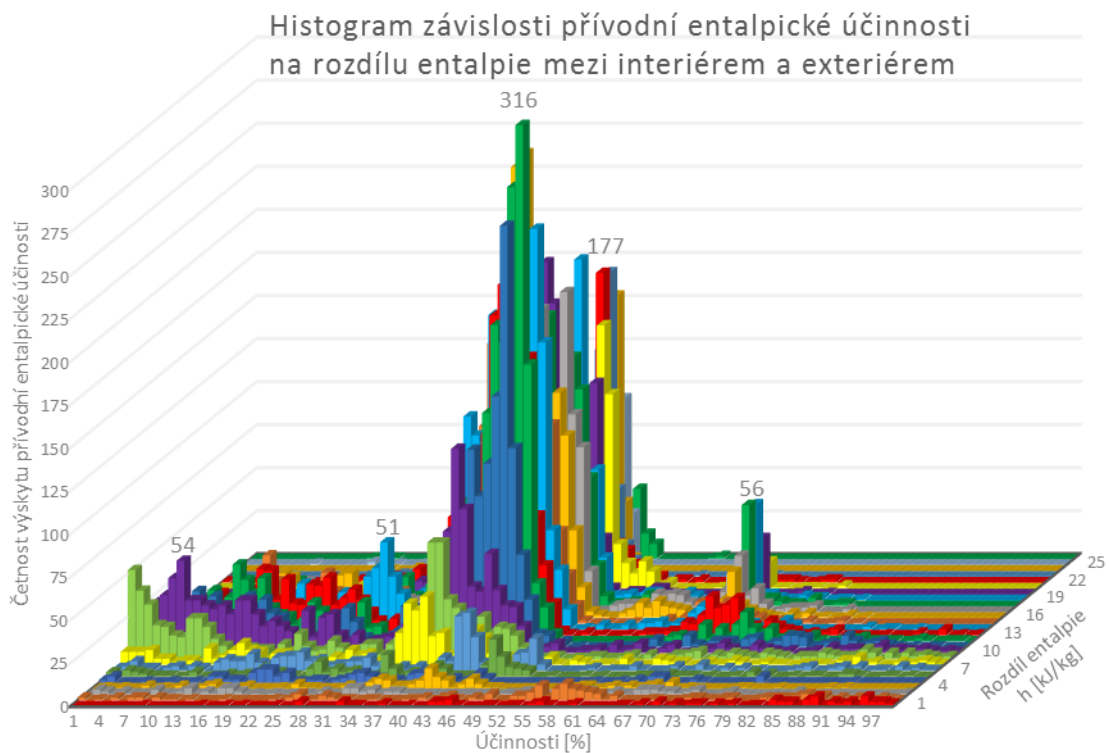


Graf 12 Histogram závislosti odvod. vlhkostní účinnosti na rozdílu vlhkosti mezi interiérem a exteriérem

### 7.3.2. Histogram entalpické účinnosti



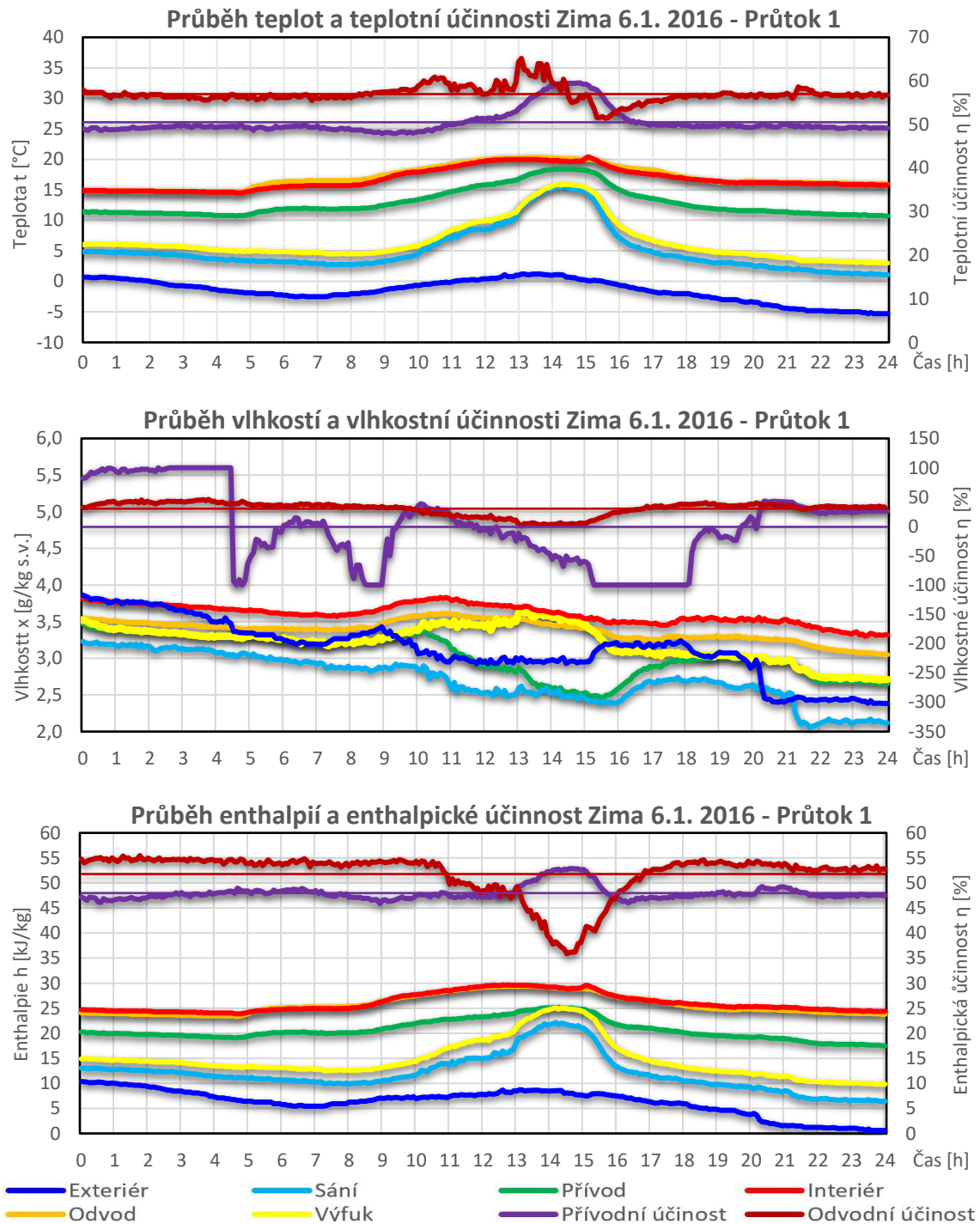
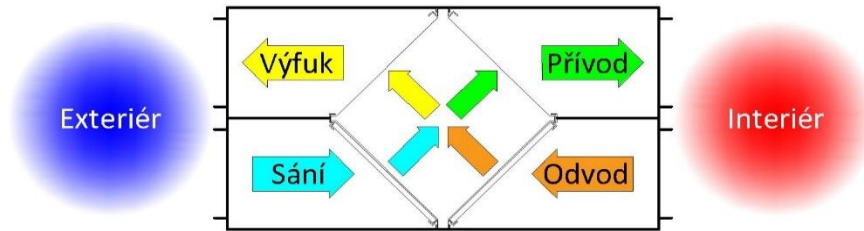
Graf 13 Histogram závislosti přívod. entalpické účinnosti na rozdílu entalpie mezi interiérem a exteriérem



Graf 14 Histogram závislosti odvod. entalpické účinnosti na rozdílu entalpie mezi interiérem a exteriérem

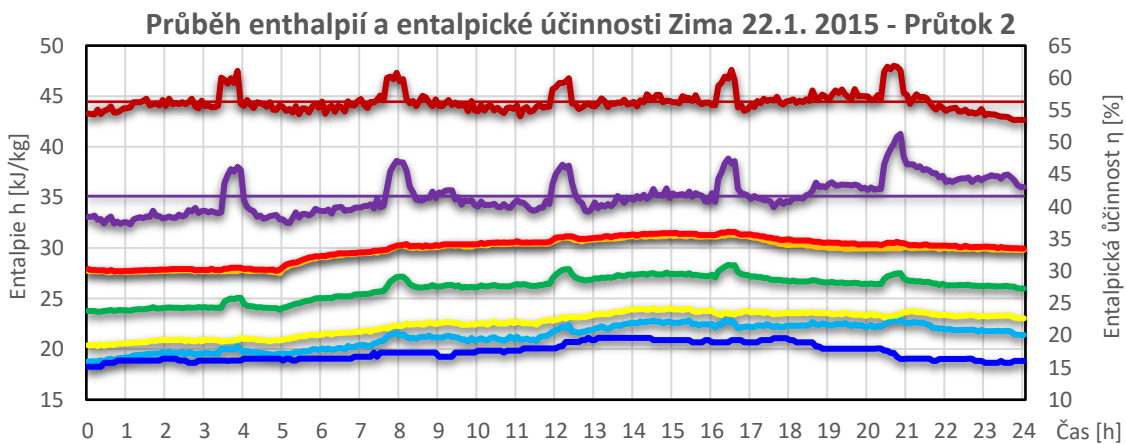
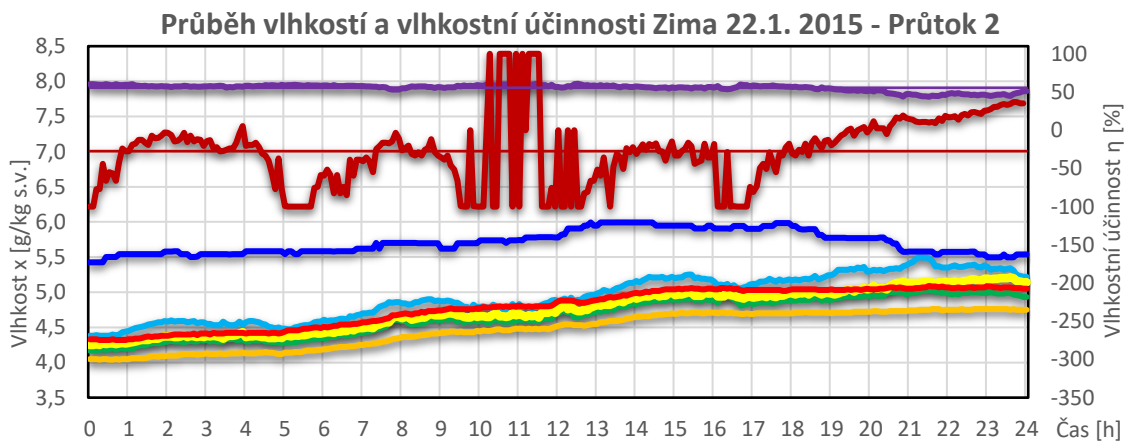
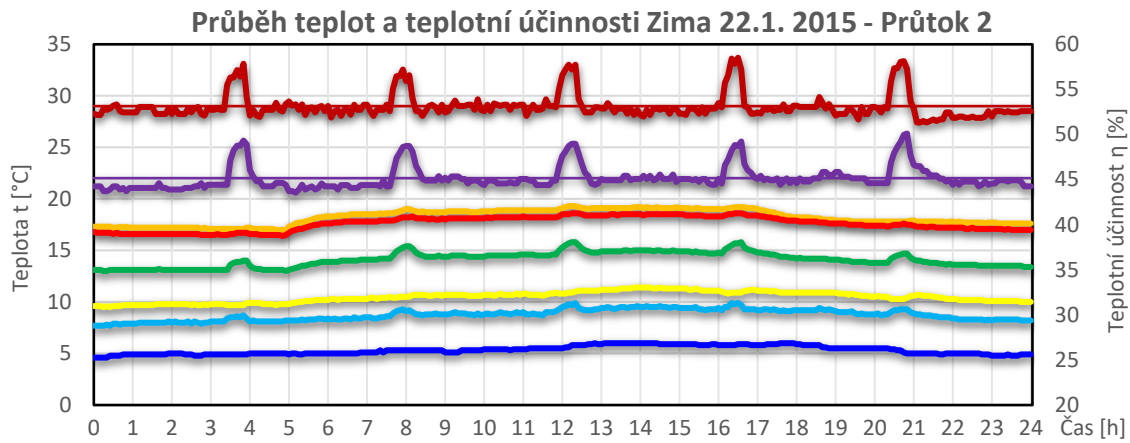
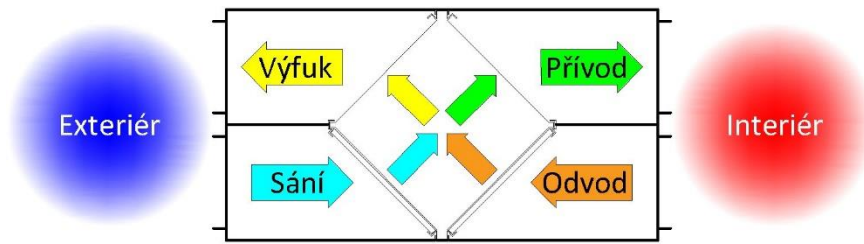
## 7.4. Denní průběhy pro typické dny

### 7.4.1. Denní průběhy pro typický zimní den Průtok 1



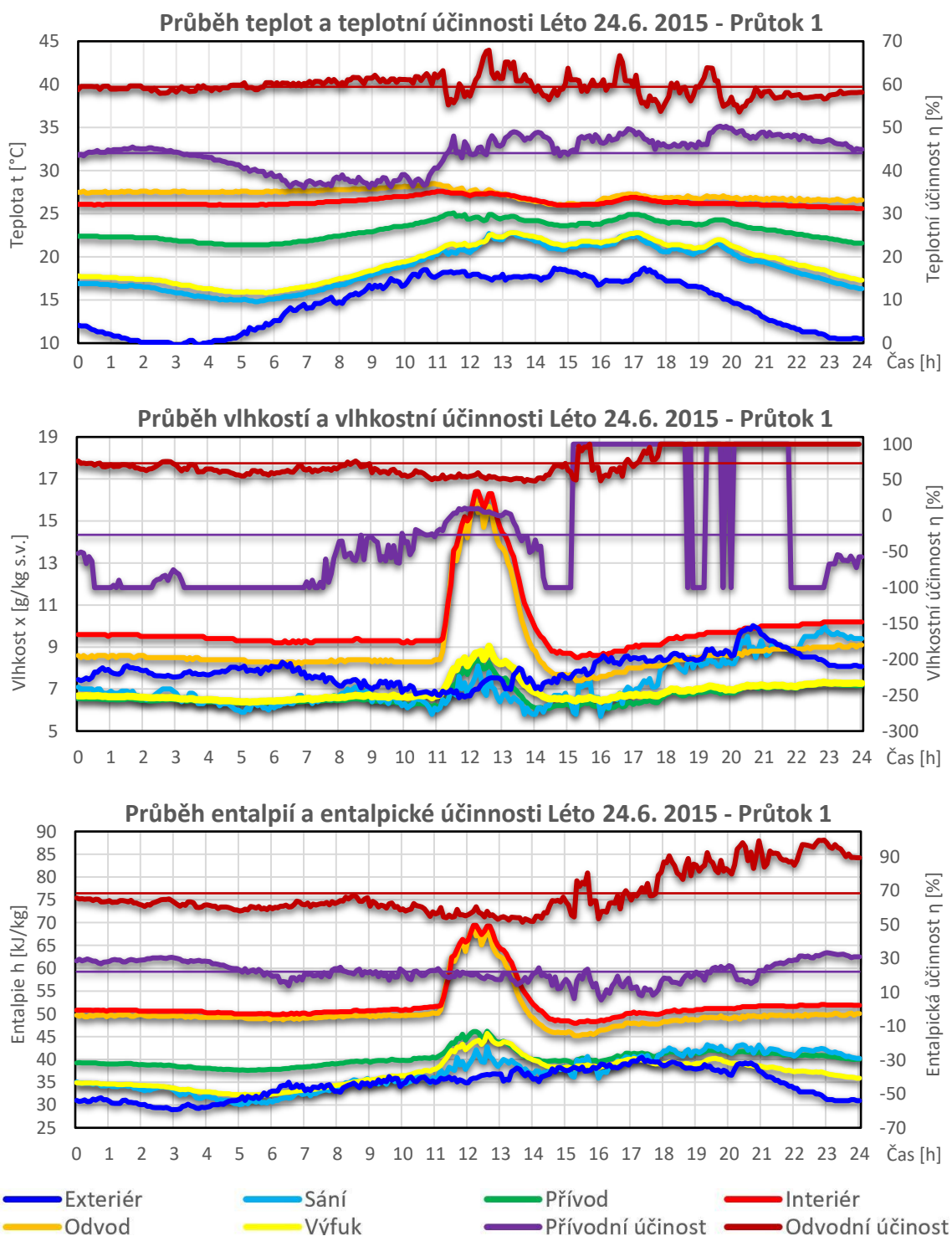
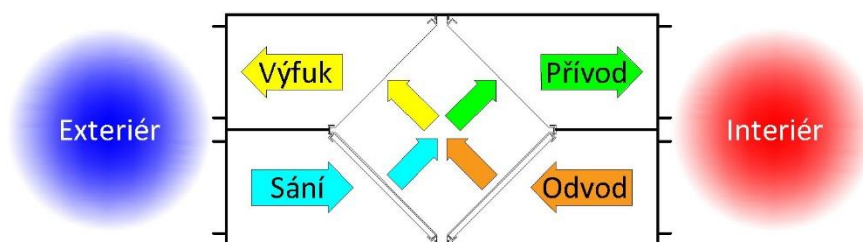
Graf 15 Denní průběhy pro typický zimní den Průtok 1

### 7.4.2. Denní průběhy pro typický zimní den Průtok 2



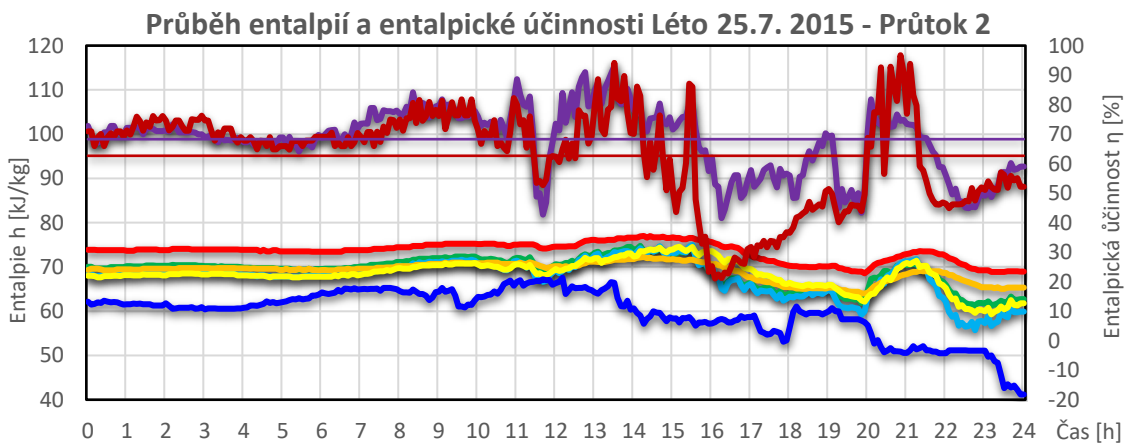
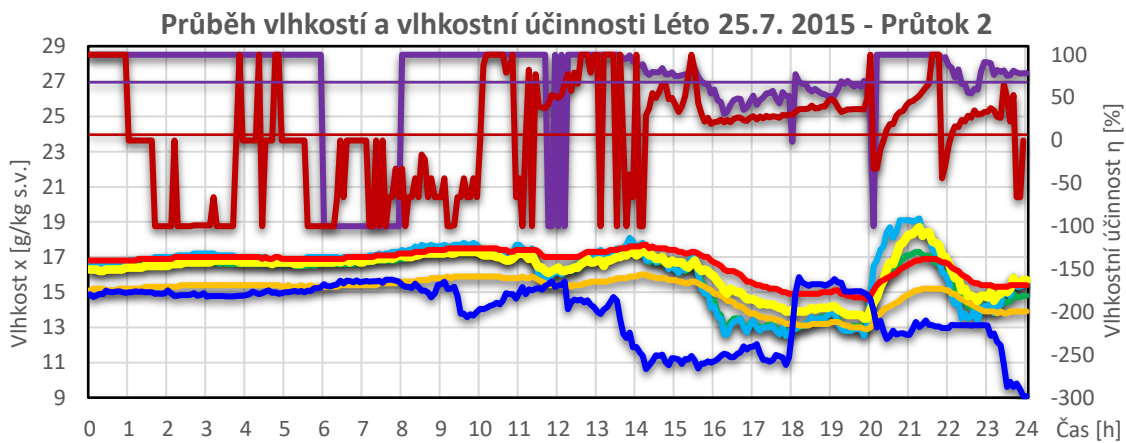
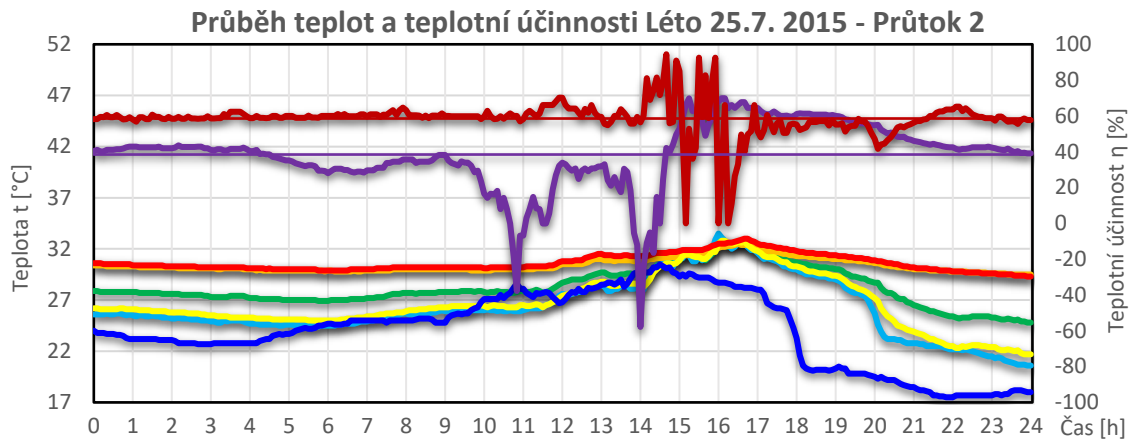
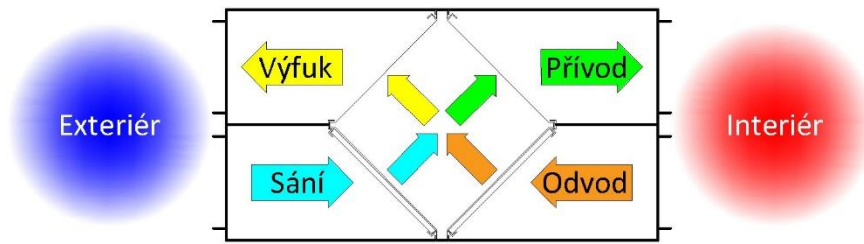
Graf 16 Denní průběhy pro typický zimní den Průtok 2

### 7.4.3. Denní průběhy pro typický letní den Průtok 1



Graf 17 Denní průběhy pro typický letní den Průtok 1

#### 7.4.4. Denní průběhy pro typický letní den Průtok 2



Graf 18 Denní průběhy pro typický letní den Průtok 2

## 7.5. Porovnání výrobcem udávané účinnosti získané pomocí MITSUBISHI ELECTRIC Lossnay s měřenou hodnotou účinnosti

Pro porovnání byl vždy vybrán jeden vzorový letní a zimní den z intervalu měření. Protože není možné měřit oba průtoky v jeden okamžik, jsou vybrány vždy dva různé dny, pro které byly následně zpracovány průměrné hodnoty okrajových podmínek, jež byly zadány do softwaru. Vymodelováno bylo několik variant, které byly následně zpracovány do tabulky. Zahnut byl vliv přerušovaného a nepřerušovaného větrání pro oba průtoky.

**Selection**

Power Supply: 230V 50Hz

Inlet Heater:  Necessary  Unnecessary

Room Conditions:  Airflow per person  Number of persons  Total supply air

Selected Lossnay model & Fan Speed: LGH-35RVX-E x 1unit, "3(High)"

Heat exchange efficiency (%): 79

Enthalpy exchange efficiency (%): 70,6

Sound level (dB): 28

**Outdoor air (OA)**

Dry bulb temperature (°C)	14,5
Relative humidity (%)	77
Absolute humidity (g/kg)	7,9
Enthalpy (kJ/kg)	34,5
External static pressure (Pa)	40

**Room air (RA)**

Dry bulb temperature (°C)	26,4
Relative humidity (%)	35,8
Absolute humidity (g/kg)	7,7
Enthalpy (kJ/kg)	46,1

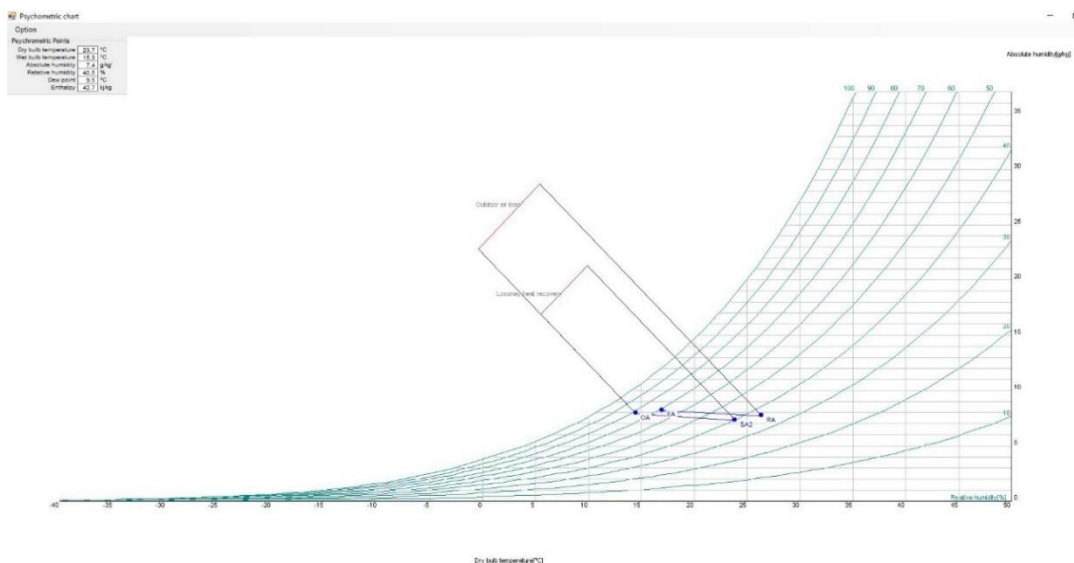
**Supply air (SA)**

	Lossnay	Sensible heat exchanger	Conventional ventilator	
Dry bulb temperature (°C)	23,9	23,9	14,5	
Absolute humidity (g/kg)	7,3	7,9	7,9	
Relative humidity (%)	40	43	77	
Enthalpy (kJ/kg)	42,7	44,1	34,5	
	(kcal/kg)	10,2	10,5	8,3
Total heat recovered (kW)	1	1,2	0,0	
	(kcal/h)	874	1031,4	0,0
Outdoor air load (kW)	0,4	0,2	1,4	
	(kcal/h)	363,9	206,5	1237,9
Outdoor air load ratio (%)	29	14	100	
Real air volume (m <sup>3</sup> /h)	375	-----	-----	

Real Air Volume is calculated without taking into consideration Heaters static pressure loss.

Psychometric chart | Lossnay Economical Calculation | Print | Specification

Obr. 53 Náhled na software MITSUBISHI ELECTRIC Lossnay Selection



Obr. 54 Náhled na výstup MITSUBISHI ELECTRIC Psychrometric chart

### MITSUBISHI ELECTRIC Lossnay Economical Calculation

#### Selection

Power Supply: 230V 50Hz  
 Selected Models: LGH-35RVX-E  
 Air volume: 4(Ex. High)  
 Units: 1

#### Outdoor Condition

Temperature (°C)	Heating (Winter)	Cooling (Summer)
	-5,32	24,14
Relative humidity (%)	100	73,1
Enthalpy (kJ/kg)	0,6	59,4

#### Indoor Condition

Supply Air (m3/h)	558	
Supply Static Pressure (Pa)	50,5	
Temperature (°C)	Heating (Winter)	Cooling (Summer)
	17,6	30,7
Relative humidity (%)	38,5	43,1
Enthalpy (kJ/kg)	29,9	61,3

Operation Time	hour/day	24	24
	day/month	31	31
	month/year	8	4

Energy cost	1,45	2
COP	2	2

#### Supply air (SA)

Dry bulb temperature (°C)	Heating (Winter)	Cooling (Summer)
	10,9	28,8
Relative humidity (%)	35,8	49,9
Enthalpy (kJ/kg)	18,2	60,5

Temp Efficiency (%)	70,6	70,7
Enthalpy Efficiency (%)	60,1	58

#### Outdoor(Supply) air load

Lossnay (kW)	Heating (Winter)	Cooling (Summer)
	2,17	-0,14
Sensible heat exchanger (kW)	2,39	0,54
Conventional ventilator (kW)	5,44	-0,34
Lossnay Total heat recovered (kW)	3,27	-0,19
Outdoor air ratio (%)	40	41

#### Outdoor air load Heating(Winter)

#### Outdoor air load Cooling(Summer)

This calculated value is an approximate value, which may vary depending on the environment of actual use of the device.

Pay Back
Lossnay Selection
Print
Specification

Obr. 55 Náhled na software MITSUBISHI ELECTRIC Lossnay Economical Calculation

### Pay Back

#### Energy saving by Lossnay (Annual)

Money saved (Kc)	Heating (Winter)	Cooling (Summer)
	14 240,00 K	297,00 Kč
Recovered load (kW)	3,3	-0,1

	Price Kc	Annual electric. Cost (Kc)
Lossnay	39 500,00 K	8 915,00 K
Sensible heat exchanger	15 095,00 K	11 917,00 K
Conventional Vent.	3 950,00 K	22 412,00 K

Bonus (Kc) 0

Some possible bonuses

- The size of the air conditioning system may be reduced as Lossnay can reduce the outdoor air load.
- As the Lossnay transfers both heat and humidity, humidification needs (in winter) may be reduced.

This calculated value is an approximate value, which may vary depending on the environment of actual use of the device.

Close

Obr. 56 Náhled na výstup MITSUBISHI ELECTRIC Pay Back

Průtoky	Průtok 1		Průtok 2	
Prívod [m <sup>3</sup> /h]	375	375	558	558
Odvod [m <sup>3</sup> /h]	244	244	369	369
Období	Léto	Zima	Léto	Zima
Vnější teplota [°C]	14,51	-1,52	24,14	-5,32
Vnitřní teplota [°C]	26,4	16,8	30,7	17,6
Vnější relativní vlhkost [%]	77,0	91,0	73,1	100,0
Vnitřní relativní vlhkost [%]	35,8	30,9	43,1	38,5
Měřené účinnosti pro vybrané typické dny				
Prívodní teplotní účinnosti [%]	44,1	50,5	38,5	45,16
Odvodní teplotní účinnosti [%]	59,4	57,0	57,2	53,1
Prívodní entalpická účinnosti [%]	22,2	48,0	68,28	41,6
Odvodní entalpická účinnosti [%]	68,1	51,8	61,72	56,3
Účinnosti pro typické dny simulované v Mitsubishi Lossnay Selection				
Total supply and return air [m <sup>3</sup> /h]	375	375	558	558
External static pressure [Pa]	40	40	50,5	50,5
Fan Speed	3	3	4	4
Teplotní účinnost MLS	70,8	79,0	70,7	70,6
Entalpická účinnost MLS	70,2	70,6	58	60,1

Tab. 5 Porovnání naměřených účinností pomocí softwaru  
Mitsubishi Electric Lossnay Selection

Účinnosti udávané výrobcem v porovnání s účinnostmi vypočtenými z měření vychází často odlišně. To může být důsledkem měření jednotky pracující v nerovnotlakém režimu, kdy není odváděno a přiváděno stejné množství vzduchu, na rozdíl od výrobcem uvedené účinnosti, která uvažuje se stejným objemovým průtokem pro přívod i odvod. Měření v laboratoři mohlo být také ovlivněno provozem, který se odlišuje od provozu v rodinném domě, kanceláři či škole, kdy se interní teploty v laboratoři pohybují v nižších mezích s absencí vnitřních zdrojů vlhkosti a tepla.

## 8. Dílčí experimenty

Hlavním záměrem dílčích experimentálních měření bylo získat data, která by prokázala, zda teplo vázané ve vlhkosti ovlivní celkovou bilanci výměny energií. V průběhu měření byly zvoleny dva individuální způsoby, jak cíleně zvýšit předání vlhkosti a zvýšit účinnost ZZT. Pomocí základních fyzikálních dějů, za pomoci běžně se vyskytujícího vybavení, bylo provedeno improvizované měření.

### 8.1. Experiment I. – Sušení prádla

Ve snaze o dosažení co možná největší vlhkostní účinnosti, byl proveden pokus, který měl prokázat, zda při zvýšení vlhkosti v interiéru pomocí navlhčeného textilu, dojde ke zvýšení přenosu vlhkosti z odsávaného do přiváděného vzduchu.

Na kovový sušák byl rozvěšen navlhčený textil, který po určitou dobu vysychal. Nastaven byl druhý stupeň otáček, pro intenzivnější větrání. Pro navlhčení bylo použito 16 litrů vody, do které byl textil postupně vkládán, promnut a lehce vyždímán, aby zbytečně moc neodkapával. Přibližně jeden litr byl setřen z podlahy a vylit do odpadu, lze tedy uvažovat ve výsledku s 15 litry vody, která byla nasáklá do různého druhu textilu. Měření probíhalo po dobu více než 72 hodin, kdy došlo k úplnému vysušení textilů.



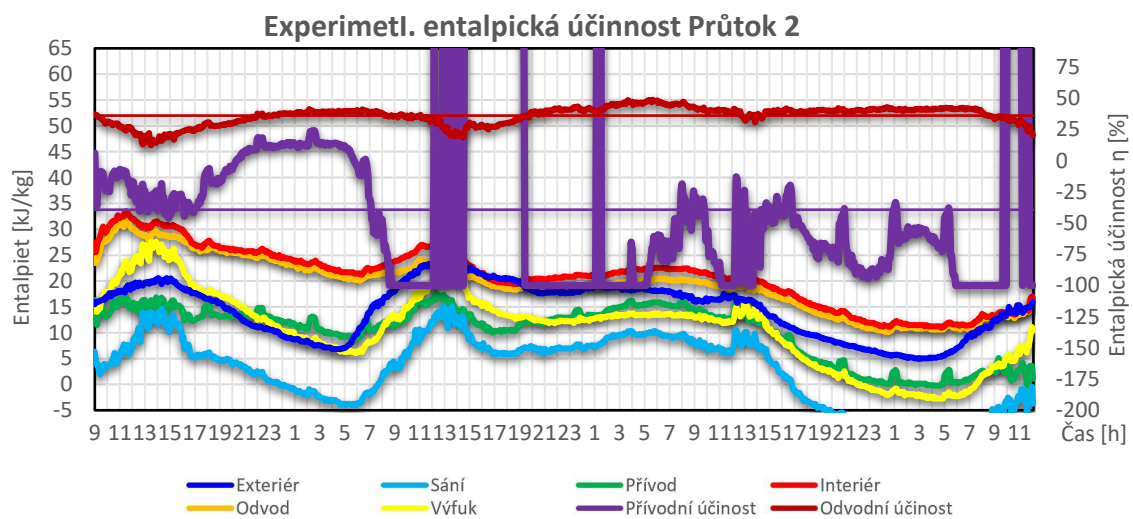
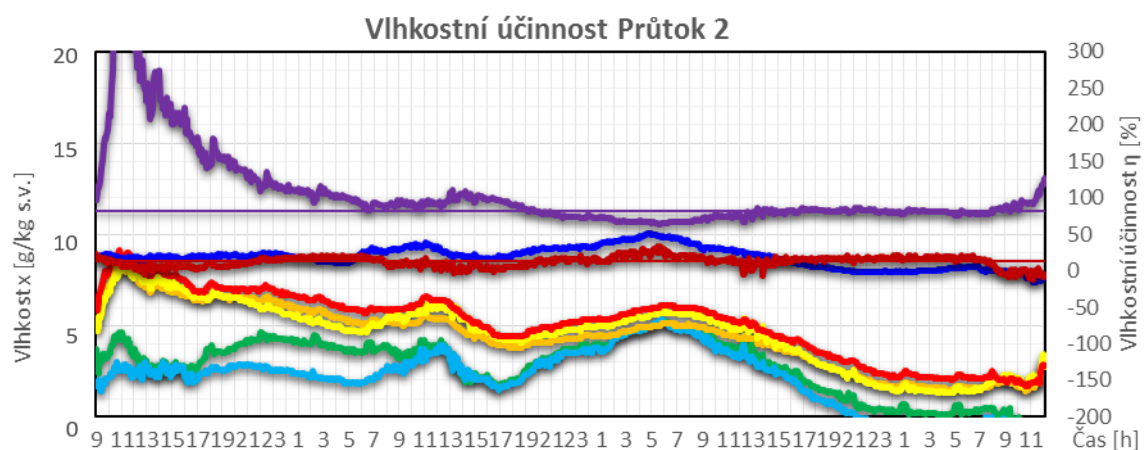
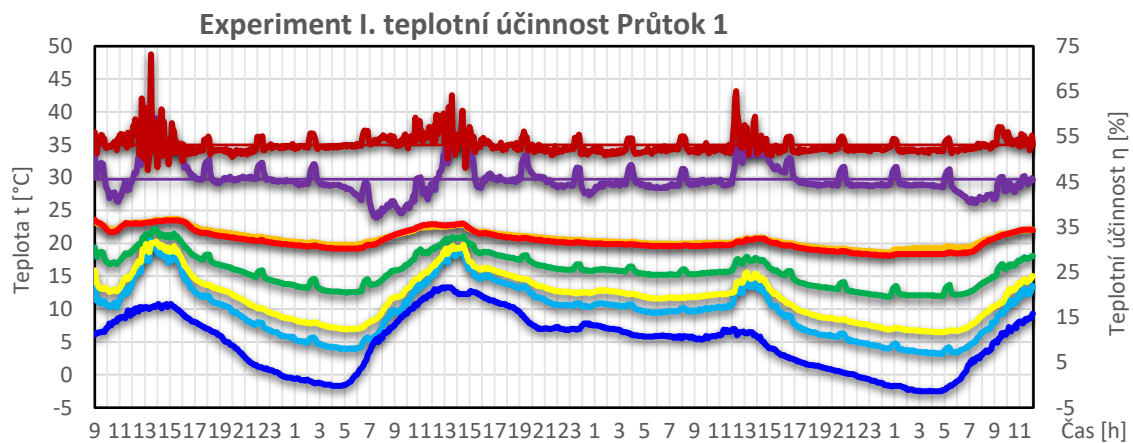
Obr. 57 Zvýšení vlhkosti pomocí navlhčeného textilu rozvěšeného na sušáku

Samotný sušák byl po rozvěšení mokrých látek umístěn na vyvýšené místo na školních lavicích (viz Obr. 58) v laboratoři, aby vzduch odsávaný z místnosti proudil kolem věšáku do odvodního potrubí.



Obr. 58 Umístění sušáku k odvodnímu potrubí

Teplotní účinnost byla změnou vlhkosti minimálně ovlivněna. Do teplotní účinnosti se projevila především vliv slunečního záření v podobě velkých výkyvů této hodnoty. Změna vlhkosti nejvíce zasáhla přírodní vlhkost, u které se na počátku dramaticky mnohonásobně zvýšila účinnost předání vlhkosti. Toto zvýšení bylo patrné v prvních devatenácti hodinách od započetí experimentu. Posléze docházelo ke snižování vlhkosti. Odvodní vlhkostní účinnost tímto experimentem nebyla dramaticky ovlivněna. U entalpické účinnosti docházelo k velkým výkyvům v době mezi jedenáctou a třetí hodinou odpolední.



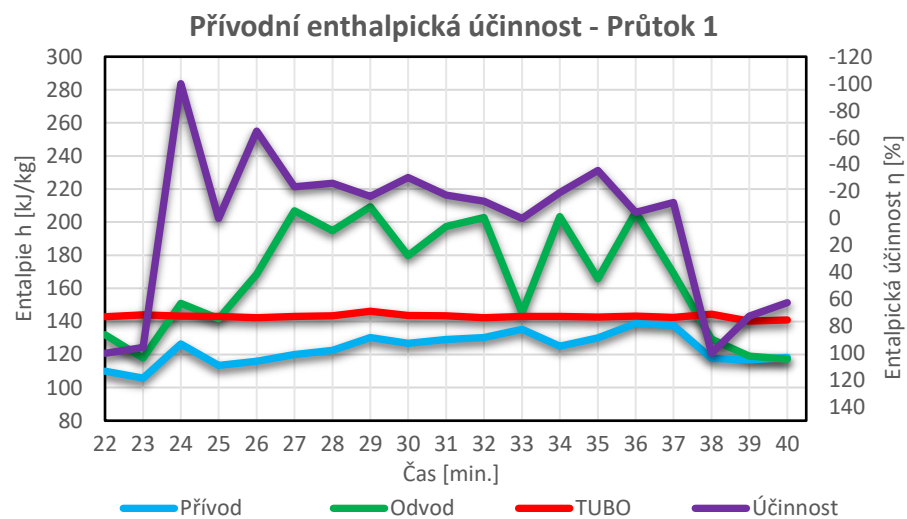
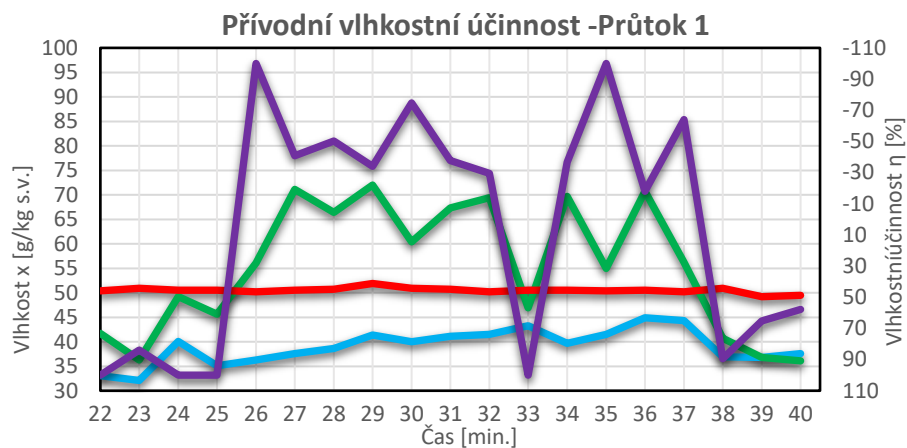
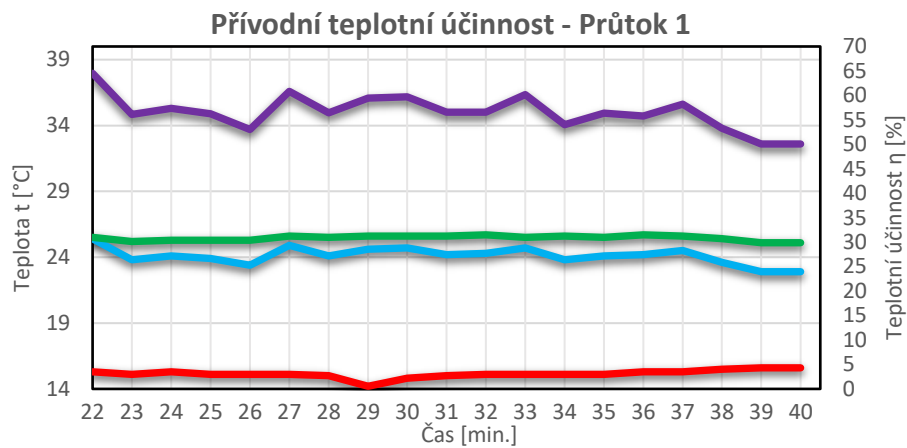
Graf 19 Průběhy účinností pro Experiment I. Průtok 2

## 8.2. Experiment II. – Varná konvice

Další experiment byl také zaměřen na zvýšené předání vlhkosti, ale byl spojený navíc se zvýšením teploty. Oba vlivy byly zajištěny odpařováním z vodní hladiny ve varné konvici, ze které se nepřetržitě odpařovala voda. Měřeny byly oba průtoky v intervalu třinácti minut. Odvodní potrubí bylo vykloněno do polohy, ve které jednotka nasávala směs páry a okolního vzduchu. V odvodním potrubí byl osazen datalogger pro určení optimální polohy, aby proud vzduchu neměl vlhkost převyšující 90 %, což výrobce nedoporučuje, aby nedošlo k poškození výměníku. Z předchozího měření bylo patrné, že tyto pokusy mají vliv především na přívodní účinnost, u které se vyhodnocuje rozdíl mezi odváděným a exteriérovým vzduchem. Proto byly zpracovány pouze přívodní účinnosti.

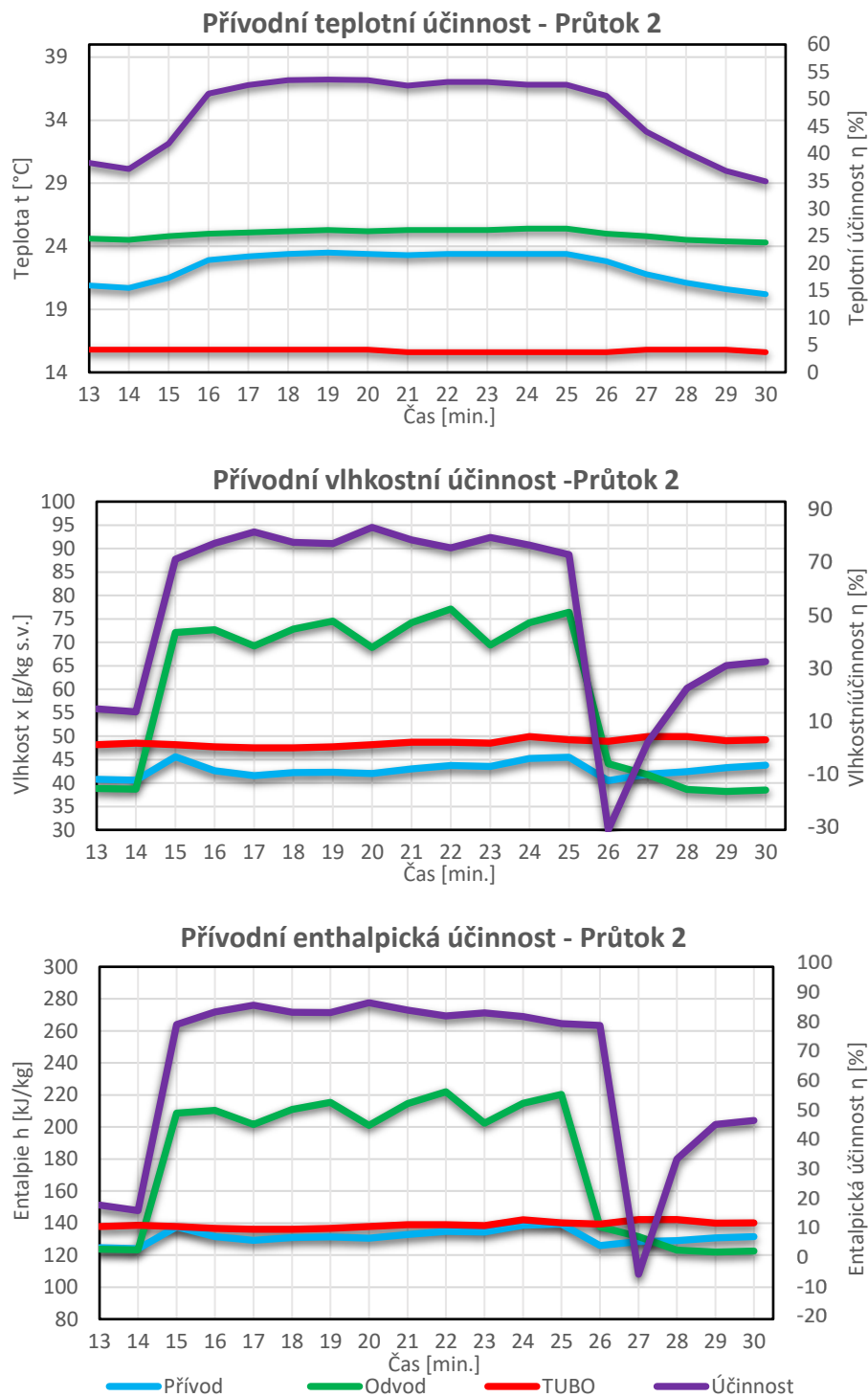


Obr. 59 Zvýšení vlhkosti a teploty pomocí odparu z varné konvice



Graf 20 Průběhy účinností pro Experiment II. Průtok 1

V případě teplotní účinnosti se změna projevila méně, než bylo očekáváno. U vlhkostní účinnosti došlo k výraznému nárůstu vlhkosti odváděného vzduchu, který zvyšoval vlhkost přiváděného vzduchu. Příмка vlhkostní účinnosti byla ovlivněna velkými rozdíly, které způsobovaly výkyvy v měření. Vlhkostní účinnost se výrazně promítla do entalpie a jsou patrné podobné výkyvy.



Graf 21 Průběhy účinností pro Experiment II. Průtok 2

Při přepnutí na druhý stupeň otáček je v porovnání s předchozím grafem dobře patrný nárůst teplotní účinnosti. Změna se dobře projevila do účinnosti předání vlhkosti. Křivky při druhém měření lépe postihly přenos vlhkosti a teplot, kdy nedocházelo k výkyvům.

## 9. Závěrečné zhodnocení experimentálního měření

Bylo pro mne zajímavé si modelově a experimentálně ověřit i prakticky vyzkoušet, zda výrobcem udávané vlastnosti výměníku Lossnay odpovídají naměřeným hodnotám. Při experimentálním měření se potvrdily některé vlastnosti specifické pro entalpické výměníky. Některé mé původní předpoklady byly potvrzeny, jiné vyvráceny.

Na začátku jsem se domníval, že entalpická účinnost, která zahrnuje i přenos vlhkosti, musí být vždy větší než teplotní. Měřením bylo zjištěno, že entalpická účinnost se dostává často pod hodnotu teplotní účinnosti. Tento výsledek může být zapříčiněn akumulací části entalpické energie do vodní páry, kdy při následném předání vázaného tepla dojde k vyrovnání teplotní bilance a snížení entalpické účinnosti. Do tohoto porovnání samozřejmě zasahuje mnoho faktorů, jako například nerovnoměrné průtoky a provoz v laboratoři.

Získal jsem praktické zkušenosti, jak měřit a vyhodnocovat výsledky rozsáhlých datových souborů, které byly získány při experimentálním měření a vizualizovány prostřednictvím grafů. Poznatky získané při měření jsem aplikovat v koncepčním řešení části B (viz. kapitola 3.3)

## Závěr

Hlavní téma mé diplomové práce je „Návrh vzduchotechnického zařízení s ohledem na systém zpětného získávání tepla“.

Problematika variantního návrhu ZZT byla řešena v polyfunkčním objektu, ve kterém se nacházejí řešené prostory prodejny čokolády, s požadavkem na specifické mikroklima prodejny s ohledem na prodávané zboží.

Na základě teoretických poznatků, vztahujících se k řešené problematice, jsem vypracoval dvě variantní řešení s přenosem a bez přenosu vlhkosti při zachování kvality přiváděného vzduchu. Při porovnání variantních řešení a vyhodnocení technického popisu výhod a nevýhod jsem dospěl k závěru, že optimálnější z těchto dvou variant je použití entalpického výměníku, nežli deskového, který neumožňuje přenos vlhkosti a nedosahuje tak vysoké účinnosti.

Je nejen méně náročnou variantou na prostor, ale disponuje i vysokou účinností a má nízké provozní náklady z důvodu úspory za zvlhčování vzduchu, které je energeticky náročné.

Navzdory navrženým variantám nelze, podle mého názoru, zavrhnout ani původní řešení s rotačním výměníkem, zpracované v bakalářské práci. Tento druh výměníku umožňuje přenos vodní páry. Avšak v identickém provozu jsou pořizovací náklady i nároky na prostor výrazně vyšší než v porovnání s entalpickým výměníkem.

Ventilační jednotka Lossnay umožňující přenos tepla i vlhkosti, vytváří velmi příjemné vnitřní mikroklima. Toto pozitivně hodnocené mikroklima převažuje i zjištěný fakt, že měření nepotvrdila jednoznačně výrobcem udávanou účinnost ventilační jednotky.

Dále jsem měření a porovnáním s hodnotou udávanou výrobcem dospěl k závěru, že entalpická účinnost může být nižší než teplotní. Vyvrátil se tím můj původní předpoklad o přenosu energie.

Samotné měření navíc bylo velmi přínosné pro moji budoucí specializaci. Osvojil jsem si některé teoretické i praktické dovednosti, se kterými jsem se předtím nesešel.

Do budoucna by jistě bylo zajímavé zahrnout vliv by-passu a jeho porovnání při letním provozu. Také otázka porovnání účinnosti zaneseného opotřebovaného výměníku s čistým a neopotřebovaným výměníkem by přinesla zajímavou perspektivu pro srovnání entalpických výměníků. Významnou roli na účinnost mají i průtoky. Nasimulování přesně výrobcem udávaných průtoků a jejich porovnání s naměřenými by přineslo zajímavé výsledkové srovnání.

# Seznam použité literatury, zkratk a označení, obrázků, grafů a tabulek

## 1. Seznam použité literatury

### Bibliografie

- [1] Zpětné získávání tepla a větrání objektů. *TZB-info: stavitelství, úspory energií a technické zařízení budov* [online]. 2010 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/rekuperace-tepla/6325-zpetne-ziskavani-tepla-a-vetrani-objektu>
- [2] CHYSKÝ, Jaroslav a Karel HEMZAL. *Větrání a Klimatizace: technický průvodce*. 3. Praha: BOLIT - B Pres Brno, 1993. ISBN 80-901574-0-8.
- [3] Rezension Haus Tugendhat ein Film von Dieter Reifahrt: urbanoREVIEW. *URBANOPIHIL: NETZWERK FUR URBANE KULTUR* [online]. 2013 [cit. 2016-11-26]. Dostupné z: <http://www.urbanophil.net/urbanophil/urbanoreview/rezension-haus-tugendhat-ein-film-von-dieter-reifahrt/>
- [4] SZENDIUCH, Ivan. Eco-design jako nová strategie návrhu elektronických a elektrotechnických výrobků. *Novinky* [online]. 2008, (4) [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: [www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/novinky/ecodesign\\_sdelovacka.pdf](http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/novinky/ecodesign_sdelovacka.pdf)
- [5] *Snížení skleníkových plynů do roku 2020: rozhodnutí o sdílení úsilí*. 26.03.2015. Bruselu: EUR-Lex, 2013.
- [6] TOYOTOMI: Smernica EcoDesign ErP Program 20/20/20. *TOYOTOMI: Distribútor pre SK a ČR Smartsun s.r.o.* [online]. 2016 [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: <http://www.toyotomislovensko.sk/Smernica-EcoDesign-ErP.htm>
- [7] 406/2009/ES. *ROZHODNUTÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY č. 406/2009/ES: o úsilí členských států snížit emise skleníkových plynů, aby byly splněny závazky Společenství v oblasti snížení emisí skleníkových plynů do roku 2020*. Ze dne 23. dubna 2009. Bruselu: EUR-Lex, 2009.

- [8] Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci (I) Zdroj: <http://www.tzb-info.cz/3648-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-i>. *TZB-info: stavitelství, úspory energií a technické zařízení budov* [online]. 2006 [cit. 2015-12-31]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3648-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-i>
- [9] TECHNIKA PROSTŘEDÍ: ZPĚTNÉ ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA VE VZDUCHOTECHNICE. *TECHNIKA PROSTŘEDÍ: www.qpro.cz* [online]. 2014 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://www.qpro.cz/ZZT-rekuperace-regenerace>
- [10] GEBAUER, Günter, Olga RUBINOVÁ a Helena HORKÁ. *Vzduchotechnika*. 2. vyd. Brno: ERA, 2007, xx, 262 s. ISBN 978-80-7366-091-8.
- [11] Fórum expertů: O co jste přišli v diskusi o větrání pasivních domů: Protimrazová ochrana rekuperačních výměníků. *CENTRUM PASIVNÍHO DOMU* [online]. 2015 [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/forum-expertu-o-co-jste-prisli-v-diskusi-o-vetrani-pasivnich-domu/t4219>
- [12] Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci (II) Zdroj: <http://www.tzb-info.cz/3688-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-ii>. *TZB-info: stavitelství, úspory energií a technické zařízení budov* [online]. 2006 [cit. 2015-12-31]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3688-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-ii>
- [13] Reference: trubkové výměníky. *Valášek spol. s r.o.* [online]. Religis, 2016 [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: [http://www.valasek.cz/?lang=cz&action=reference&group\\_id=2](http://www.valasek.cz/?lang=cz&action=reference&group_id=2)
- [14] RUBINA, Aleš, Petr ANDRYS a Jiří ELL. Experimentální hodnocení účinnosti entalpického výměníku vzduch - vzduch. *Www.topin.cz*. 2009, **2009**(8), 3. Dostupné také z: [www.topin.cz/download.php?idx=84992&di=7](http://www.topin.cz/download.php?idx=84992&di=7)
- [15] Větrání s rekuperací (8): Funkce entalpického výměníku a jeho využití Více zde: <http://www.infobydleni.cz/news/vetrani-s-rekuperaci-8-funkce-entalpickeho-vymeniku-a-jeho-vyuziti/>. *InfoBYDLENI.cz: Víme, jak můžete bydlet lépe...* [online]. PARADISE STUDIO, 2015 [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.infobydleni.cz/news/vetrani-s-rekuperaci-8-funkce-entalpickeho-vymeniku-a-jeho-vyuziti/>
- [16] Větrací jednotky – rekuperace tepla, optimalizace vlhkosti Řízené větrání s rekuperací tepla pro rodinné domy a byty (II): Zehnder Group Czech Republic s.r.o.. *TZB-info: stavitelství, úspory energií a technické zařízení budov* [online]. Topinfo s.r.o., 2013 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/10635-rizene-vetrani-s-rekuperaci-tepla-pro-rodinne-domy-a-byty-ii>
- [17] Řízené větrání s rekuperací – nezbytnost u vzduchotěsných staveb Řízené větrání s rekuperací tepla pro rodinné domy a byty (I) Zdroj: <http://vetrani.tzb-info.cz/10610-rizene-vetrani-s-rekuperaci-tepla-pro-rodinne-domy-a-byty-i>: Zehnder Group Czech Republic s.r.o.. *TZB-info: stavitelství, úspory energií a technické zařízení budov* [online]. Topinfo s.r.o., 2013 [cit. 2016-12-30]. Dostupné

- z: <http://vetrani.tzb-info.cz/10610-rizene-vetrani-s-rekuperaci-tepla-pro-rodinne-domy-a-byty-i>
- [18] Heat Pipe: princip a konstrukce. *SVĚT HARDWARE: ... vše ze světa počítačů* [online]. 2007 [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/heat-pipe-princip-a-konstrukce/15941>
- [19] Rekuperace: Představení technologie aneb proč ji zvolit?: Účinnost rekuperace. *Nazeleno.cz: Chytrá řešení pro každého* [online]. NetBrokers Holding, 2010 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/stavba/rekuperace/rekuperace-predstaveni-technologie-aneb-proc-ji-zvolit.aspx>
- [20] Regenerace. *WikipediE: Otevřená encyklopedie* [online]. 2016 [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Regenerace>
- [21] BLASINSKI, Petr a Aleš RUBINA. Rotační regenerační výměníky ve vzduchotechnice. *Český instalatér*. Praha: ČNTL, spol. s r.o., 2014, **2014**(3), 3. ISSN 1210- 695X.
- [22] Obnova jednotek VZT ve výrobním závodě Volkswagen. *ASB-portal.cz: odborný stavební portál* [online]. JAGA GROUP, s. r. o., 2016 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/tzb/vetrani-a-klimatizace/obnova-jednotek-vzt-ve-vyrobnim-zavode-volkswagen>
- [23] Großes Potential durch Wärmerückgewinnung in Lüftungsanlagen. *Apuso* [online]. 2009 [cit. 2016-12-23]. Dostupné z: <http://www.apuso.de/wDeutsch/lueftungstechnik/waermerueckgewinnung.php?navanchor=1010005>
- [24] Recair Enthalpy 3D animation. *YouTube* [online]. 2011 [cit. 2015-12-31]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=O7PuP98IImQ>
- [25] 1253/2014. *NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 1253/2014: kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign větracích jednotek*. Ze dne 7. července 2014. Bruselu: EUR-Lex, 2014. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32014R1253>
- [26] 641/2009. *NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 641/2009: kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2005/32/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign samostatných bezucpávkových oběhových čerpadel a bezucpávkových oběhových čerpadel vestavěných ve výrobcích*. Ze dne 22. července 2009. Bruselu: EUR-Lex, 2009. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1450720798483&uri=CELEX:32009R0641>
- [27] 2005/32/ES. *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2005/32/ES: o stanovení rámce pro určení požadavků na ekodesign energetických spotřebičů a o změně směrnic Rady 92/42/EHS a Evropského parlamentu a Rady 96/57/ES a 2000/55/ES*. Ze dne 6. července 2005. Štrasburk: EUR-Lex, 2005. Dostupné také z: [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2005.191.01.0029.01.CES&toc=OJ.L:2005:191:TOC](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2005.191.01.0029.01.CES&toc=OJ.L:2005:191:TOC)

- [28] 2009/125/ES. *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/125/ES: o stanovení rámce pro určení požadavků na ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie*. Ze dne 21. října 2009. Štrasburk: EUR-Lex, 2009. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex:32009L0125>
- [29] 2009/125/ES. *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/125/ES: o stanovení rámce pro určení požadavků na ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie*. Štrasburk: EUR-Lex, 2009. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex:32009L0125>
- [30] PŘEHLED IMPLEMENTACE SMĚRNICE O EKODESIGNU A POŽADAVKŮ NA ENERGETICKOU EFEKTIVNOST VYBRANÝCH SKUPIN VÝROBKŮ. In: *MPO-EFEKT.cz: Informační portál Ministerstva průmyslu a obchodu* [online]. 2011, (1) [cit. 2015-12-21]. Dostupné z: <http://mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/prehled-implementace-smernice-o-ekodesignu-a-pozadavku-na-en.pdf>
- [31] SZENDIUCH, Ivan. *Eco-design jako nová strategie návrhu elektronických a elektrotechnických výrobků* [online]. 2015 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: [www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/novinky/ecodesign\\_sdelovacka.pdf](http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/novinky/ecodesign_sdelovacka.pdf)
- [32] ELEKTRODESIGN VENTILÁTORY SPOL. S R.O. Přípravení na budoucnost s vyšší energetickou účinností SOLER & PALAU daleko v předstihu před požadavky ErP Zdroj: <http://vetrani.tzb-info.cz/9809-pripraveni-na-budoucnost-s-vyssi-energetickou-ucinnosti>. ELEKTRODESIGN VENTILÁTORY SPOL. S R.O. *TZB info* [online]. 2013, 23.4. [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/9809-pripraveni-na-budoucnost-s-vyssi-energetickou-ucinnosti>
- [33] ErP application for Aereco ventilation units. *AERECO air on demand* [online]. 2016 [cit. 2016-01-21]. Dostupné z: <http://www.aereco.com/news/erp-application-for-aereco-ventilation-units/>
- [34] SAVE VTC 200 L rek.jednotka. *Systemair* [online]. 2016 [cit. 2016-01-21]. Dostupné z: <http://www.systemair.com/sk/Slovakia/Products/rezidenne-systemy/jednotky-s-protiprudovym-rek/vrchne-napojenie/save/SAVE-VTC-200-L-rekjednotka-24803-sksk.aspx>
- [35] BCB PLZEŇ - TEPELNÁ TECHNIKA. *BCB Plzeň, spol.s r.o.* [online]. 2016 [cit. 2016-01-21]. Dostupné z: <http://www.bcb-plzen.eu/bcb/index3.htm>
- [36] Vzduchotechnická zařízení a technická normalizace. *TZB-info* [online]. 2014, 4.8.2014 [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-ventrání-klimatizace/11551-vzduchotechnicka-zarizeni-a-technicka-normalizace>
- [37] Závazné požadavky na ekodesign energetických spotřebičů (1. část). *ELEKTRO* [online]. 2011 [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/zavazne-pozadavky-na-ekodesign-energetickych-spotrebicu-1-cast--10121>

- [38] Jak skladovat. *Passion: Hand made chocolate* [online]. Praha, 2014 [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: <http://www.passionchocolate.cz/cs/jak-skladovat>
- [39] Lossnay: Perfektní kombinace klimatizačního a větracího systému. *KLIMA GROUP s.r.o.* [online]. 2016 [cit. 2016-11-11]. Dostupné z: <http://klimagroup.cz/klimatizace/klimatizace-mitsubishi-electric/lossnay>
- [40] Mapy.cz. *Seznam.cz* [online]. 2016 [cit. 2016-02-05]. Dostupné z: <http://mapy.cz/zakladni?x=16.5921479&amp;y=49.2057988&amp;z=18>
- [41] Kontakty a fotografie: Budovy areálu. *FAKULTA STAVEBNÍ: O FAKULTĚ* [online]. 2016 [cit. 2016-02-05]. Dostupné z: [http://www.fce.vutbr.cz/obecne/dislokace/plan\\_new.asp?budova=E1](http://www.fce.vutbr.cz/obecne/dislokace/plan_new.asp?budova=E1)
- [42] Popis technologie: Jak tato technologie funguje?. *ENERGIE4* [online]. 2016 [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.energie4plus.cz/rekuperace/technologie>
- [43] COMET dataloggery, teploměry, vlhkoměry...: S3120 Teploměr-vlhkoměr. *Comet System, s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2015-12-11]. Dostupné z: <http://www.cometsystem.cz/produkty/dataloggery/s3120-teplomer-vlhkomer/reg-S3120#featureess>
- [44] USB adaptér. *OKvzduch.cz* [online]. PERFECTUM Group, s.r.o., 2016 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.okvzduch.cz/usb-adapter>
- [45] TUBO PERMANENTNÍ GPS STANICE: Měřicí systém GNSS družicové stanice TUBO. *Fakulta stavební, Ústav geodézie* [online]. 2015 [cit. 2015-12-11]. Dostupné z: <http://tubo.fce.vutbr.cz/new/mericiSystem.asp>
- [46] ZEFIN s.r.o.:velkoobchod měřící, regulační a topenářské techniky velkoobchod měřící, regulační a topenářské techniky: NS 520 -120/4-20mA sleva 10%. *ZEFIN s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2015-12-28]. Dostupné z: [http://www.zefin.cz/cs/produkty/sensit/snimace-teploty/stonkove/stonek-120mm/ns-520--120/4-20ma-sleva-10\\_\\_s564x493p.html](http://www.zefin.cz/cs/produkty/sensit/snimace-teploty/stonkove/stonek-120mm/ns-520--120/4-20ma-sleva-10__s564x493p.html)
- [47] COMET dataloggery, teploměry, vlhkoměry: T7310 Snímač teploty, vlhkosti a atmosférického tlaku s výstupem RS232. *Comet System, s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2015-12-28]. Dostupné z: [http://www.cometsystem.cz/produkty/snimace-a-regulatory-teploty-vlhkosti-tlaku/t7310-snimac-teploty-vlhkosti-a-atmosferickeho-tlaku-s-vystupem-rs232/reg-T7310#technical\\_dataa](http://www.cometsystem.cz/produkty/snimace-a-regulatory-teploty-vlhkosti-tlaku/t7310-snimac-teploty-vlhkosti-a-atmosferickeho-tlaku-s-vystupem-rs232/reg-T7310#technical_dataa)
- [48] PM SYSTEMS, A.S. PH731 ProHood Záchytná kapucňa. PM SYSTEMS, A.S. *PMSYSTEMS* [online]. 2014 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://tsi-airflow.sk/zachytne-kapucne-prohood/ph731.html>
- [49] AIRFLOW LUFTTECHNIK GMBH. *PROHOOD: Multifunkční přístroj určený k měření a zaregulování VZT systémů* [online]. 2015 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://www.airflow.cz/produkty/pristroje/prohood731.php>
- [50] Boxplot. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. Creative Commons, 2016 [cit. 2016-12-28]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Boxplot>

## 1. Seznam použitých zkratk a označení

USB	Universal Serial Bus
PC	Personal Computer
GPS	Global Position System
ErP	Energy related Products
OZE	Obnovitelné Zdroje Energie
EU	Evropská Unie
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
EK	Evropská Komise
TZB	Technické Zařízení Budov
TUBO	Technical University Brno
SEC	Specifická spotřeba energie
VZT	Vzduchotechnika
ZZT	Zpětné Získávání Tepla
ZZV	Zpětné Získávání Vlhkosti

## 2. Seznam obrázků

Obr. 1 Funkcionalistické vila Tugendhat (převzato z [3]).....	10
Obr. 2 Cíle programu 20-20-20 (převzato z [6]) .....	11
Obr. 3 Dělení systémů zpětného získávání tepla .....	13
Obr. 4 Průtok protiproudým výměníkem (převzato z [11]).....	14
Obr. 5 Čtyřúhelníkový křížový výměník a šestihřanný protiproudý výměník (převzato z [8]).....	15
Obr. 6 Trubkový výměník (převzato z [13]).....	16
Obr. 7 Přenosu přes membránu entalpického výměníku (převzato z [15]) .....	17
Obr. 8 Čištění entalpických výměníku s polymerovou membránou (převzato z [17] [16]) .....	18
Obr. 9 Schéma zapojení kapalinového okruhu u historického objektu .....	20
Obr. 10 Tepelná trubice .....	21
Obr. 11 Kapilární trubice .....	21
Obr. 12 Kombinované ZZT s tepelným čerpadlem .....	22

Obr. 13 Kompaktní větrací jednotka s tepelným čerpadlem a deskovým ZZT (převzato z [19]).....	22
Obr. 14 Dělené oběžné kolo rotačního výměníku (převzato z [22]).....	24
Obr. 15 Rotační výměník (převzato z [23]) .....	25
Obr. 16 Regenerační přepínací výměník (převzato z [24]).....	26
Obr. 17 Provedení s deskovým výměníkem.....	30
Obr. 18 Provedení s rotačním výměníkem.....	30
Obr. 19 Provedení s kapalinovým okruhem.....	30
Obr. 20 Proces schválení normy (převzato z [30]).....	33
Obr. 21 Symboly a označení Ekodesignu (převzato z [32] [33] [34] [35]) .....	40
Obr. 22 Označení CE dle Přílohy III (převzato z [29]).....	40
Obr. 23 Dispoziční schéma řešené části objektu.....	44
Obr. 24 Jihovýchodní pohled .....	45
Obr. 25 Severovýchodní pohled.....	45
Obr. 26 Uspořádání VZT jednotek a rozvodů řešeného objektu.....	46
Obr. 27 Funkční schéma VZT1 Restaurace .....	48
Obr. 28 Funkční schéma VZT2 Prodejna.....	49
Obr. 29 Funkční schéma skladovací jednotky .....	50
Obr. 30 Rotační výměník .....	52
Obr. 31 Schéma ovládání zařízení pro Původní řešení - Rotační výměník.....	53
Obr. 32 Deskový výměník .....	55
Obr. 33 Schéma ovládání zařízení pro Varianta V1 - Deskový výměník .....	56
Obr. 34 Entalpický výměník (převzato z [39]) .....	59
Obr. 35 Schéma ovládání zařízení pro Varianta V2 - Entalpický výměník.....	60
Obr. 36 Dislokace budovy E1 Stavební fakulty VUT v Brně (převzato z [40]).....	66
Obr. 37 Plán umístění laboratoře v budově E1 (převzato z [41]) .....	66
Obr. 38 Umístění a zapojení vzduchotechnické jednoty.....	67
Obr. 39 Entalpický výměník (převzato z [42]) .....	68
Obr. 40 Mechanismus přenosu molekul vody a tepla .....	69
Obr. 41 Porovnání filtru před čištěním a po vyčištění .....	70
Obr. 42 Čištění ventilační jednotky.....	70
Obr. 43 Datalogger Comet S3120 (převzato z [43]) .....	71

Obr. 44 Datový USB kabel (převzato z [44]) .....	71
Obr. 45 Meteostanice TUBO (převzato z [45]) .....	72
Obr. 46 Měřič teploty vzduchu Comet NS520-120A (převzato z [45]) .....	72
Obr. 47 Proudový snímač Comet T7310 (převzato z [47]) .....	73
Obr. 48 Airflow Capture Hood PH731 ProHood (převzato z [48]).....	74
Obr. 49 Připevnění dataloggerů k výměníku .....	75
Obr. 50 Umístění dataloggerů v jednotce .....	75
Obr. 51 Měření průtoku vzduchu na přívodním potrubí.....	76
Obr. 52 Porovnání histogramu normálního rozdělení s boxplotem.....	78
Obr. 53 Náhled na software MITSUBISHI ELECTRIC Lossnay Selection .....	87
Obr. 54 Náhled na výstup MITSUBISHI ELECTRIC Psychrometric chart .....	87
Obr. 55 Náhled na software MITSUBISHI ELECTRIC Lossnay Economical Calculation .....	88
Obr. 56 Náhled na výstup MITSUBISHI ELECTRIC Pay Back .....	88
Obr. 57 Zvýšení vlhkosti pomocí navlhčeného textilu rozvěšeného na sušáku .....	90
Obr. 58 Umístění sušáku k odvodnímu potrubí.....	91
Obr. 59 Zvýšení vlhkosti a teploty pomocí odparu z varné konvice .....	93

### 3. Seznam grafů

Graf 1 H-X diagram Původní řešení - Rotační výměník .....	54
Graf 2 H-X diagram Varianta V1 - Deskový výměník.....	57
Graf 3 H-X diagram Varianta V2 - Entalpický výměník.....	59
Graf 4 Potřeba energie jednotlivých variant .....	61
Graf 5 Závislost předané energie na provozní době .....	62
Graf 6 Boxplot Teplotní účinnost .....	79
Graf 7 Boxplot Vlhkostní účinnost.....	79
Graf 8 Boxplot Entalpická účinnost.....	79
Graf 9 Histogram závislosti přívod. teplotní účinnosti na rozdílu teplot mezi interiérem a exteriérem .....	80
Graf 10 Histogram závislosti odvod. teplotní účinnosti na rozdílu teplot mezi interiérem a exteriérem .....	80
Graf 11 Histogram závislosti přívod. vlhkostní účinnosti na rozdílu vlhkosti mezi interiérem a exteriérem .....	81

Graf 12 Histogram závislosti odvod. vlhkostní účinnosti na rozdíl vlhkosti mezi interiérem a exteriérem.....	81
Graf 13 Histogram závislosti přívod. entalpické účinnosti na rozdíl entalpie mezi interiérem a exteriérem.....	82
Graf 14 Histogram závislosti odvod. entalpické účinnosti na rozdíl entalpie mezi interiérem a exteriérem.....	82
Graf 15 Denní průběhy pro typický zimní den Průtok 1 .....	83
Graf 16 Denní průběhy pro typický zimní den Průtok 2.....	84
Graf 17 Denní průběhy pro typický letní den Průtok 1 .....	85
Graf 18 Denní průběhy pro typický letní den Průtok 2.....	86
Graf 19 Průběhy účinností pro Experiment I. Průtok 2.....	92
Graf 20 Průběhy účinností pro Experiment II. Průtok 1 .....	94
Graf 21 Průběhy účinností pro Experiment II. Průtok 2 .....	95

#### 4. Seznam tabulek

Tab. 1 Souhrn účinností a výkonu rotačního výměníku ZZT (viz Příloha 3).....	52
Tab. 2 Souhrn účinností a výkonu deskového výměníku ZZT (viz Příloha 4).....	55
Tab. 3 Souhrn účinností a výkonu rotačního výměníku ZZT (viz Příloha 5).....	58
Tab. 4 Naměřené průměrné objemové průtoky.....	77
Tab. 5 Porovnání naměřených účinností pomocí softwaru Mitsubishi Electric Lossnay Selection.....	89

## Přílohy

### Seznam příloh:

Příloha 1.	Výpočet specifické spotřeby tepla SEC .....	108
Příloha 2.	Tepelná účinnost systému zpětného získávání tepla a korekce filtru .....	110
Příloha 3.	Výstup ze softwaru Aero CAD Prodejna – Rotační výměník .....	111
Příloha 4.	Výstup ze softwaru Aero CAD Prodejna – Deskový výměník .....	120
Příloha 5.	Výstup ze softwaru Mitsubishi Electric– Entalpický výměník .....	129

### Seznam výkresové dokumentace:

Výkres č. 1	PŮDORYS 1.NP VARIANTA V1 - DESKOVÝ VÝMĚNÍK BEZ PŘENOSU VLHKOSTI
Výkres č. 2	LEGENDA MÍSTNOSTÍ 1.NP VARIANTA PŮVODNÍ, V1, V2
Výkres č. 3	PŮDORYS 1.NP VARIANTA V2 - ENTALPICKÝ VÝMĚNÍK S PŘENOSEM VLHKOSTI
Výkres č. 4	SCHÉMA OVLÁDÁNÍ ZAŘÍZENÍ VARIANTA PŮVODNÍ
Výkres č. 5	SCHÉMA OVLÁDÁNÍ ZAŘÍZENÍ VARIANTA V1 - DESKOVÝ VÝMĚNÍK BEZ PŘENOSU VLHKOSTI
Výkres č. 6	SCHÉMA OVLÁDÁNÍ ZAŘÍZENÍ VARIANTA V2 - ENTALPICKÝ VÝMĚNÍK S PŘENOSEM VLHKOSTI

### Obsah CD:

/Text bakalářské práce

složka obsahuje text práce shodný s odevzdanou elektronickou verzí  
a Metadata

/Výkresy

složka obsahuje výkresy ve formátu PDF z programu AutoCAD 2015

## Příloha 1. Výpočet specifické spotřeby tepla SEC

Dány v Příloha VIII, Nařízení komise (ES) č. 1253/2014 VÝPOČET POŽADAVKU NA SPECIFICKOU SPOTŘEBU ENERGIE

Specifická spotřeba energie (SEC) se vypočítá podle této rovnice:

$$SEC = t_a \cdot p_{ef} \cdot q_{net} \cdot MISC \cdot CTRL^x \cdot SPI - t_h \cdot \Delta T_h \cdot \eta_h \cdot c_{air} \cdot (q_{ref} - q_{net} \cdot CTRL \cdot MISC \cdot (1 - \eta_{t,ZZT})) + Q_{defr}$$

kde:

- SEC je specifická spotřeba energie na větrání na m<sup>2</sup> vytápěné podlahové plochy bytu nebo budovy [kWh/(m<sup>2</sup>.a)],
- t<sub>a</sub> je počet ročních provozních hodin [h/a],
- p<sub>ef</sub> je faktor primární energie pro výrobu a distribuci elektrické energie [-],
- q<sub>net</sub> je požadavek na čistou míru výměny vzduchu na m<sup>2</sup> vytápěné podlahové plochy [m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>],
- MISC je souhrnný faktor obecné typologie, který zahrnuje faktory účinnosti větrání, netěsnosti potrubí a zvláštní infiltrace [-],
- CTRL je faktor řízení větrání [-],
- x je exponent, který zohledňuje nelinearitu mezi úsporou tepelné energie a elektrické energie v závislosti na vlastnostech motoru a pohonu [-],
- SPI je měrný příkon [kW/(m<sup>3</sup>/h)],
- t<sub>h</sub> je celkové trvání otopného období v hodinách [h],
- ΔT<sub>h</sub> je průměrný rozdíl vnitřní (19 °C) a venkovní teploty v otopném období minus 3 K korekce o solární a vnitřní zisky [K],
- η<sub>h</sub> je průměrná účinnost vytápění prostor [-],
- c<sub>air</sub> je měrná tepelná kapacita vzduchu při konstantním tlaku a hustotě [kWh/(m<sup>3</sup> K)],
- q<sub>ref</sub> je referenční míra přirozené výměny vzduchu na m<sup>2</sup> vytápěné podlahové plochy [m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>],
- η<sub>t,ZZT</sub> je tepelná účinnost zpětného získávání tepla [-],
- Q<sub>defr</sub> je tepelná energie ročně vynaložená na m<sup>2</sup> vytápěné podlahové plochy [kWh/m<sup>2</sup>.a] za účelem odtávání, založená na variabilním elektrickém odporovém vytápění.  
 $Q_{defr} = t_{defr} \cdot \Delta T_{defr} \cdot c_{air} \cdot q_{net} \cdot p_{ef}$

kde:

- t<sub>defr</sub> je trvání doby odtávání, tj. pokud je venkovní teplota nižší než -4 °C [h/a], a
- ΔT<sub>defr</sub> je průměrný rozdíl v K mezi venkovní teplotou a -4 °C v průběhu doby odtávání.

Q<sub>defr</sub> se vztahuje pouze na obousměrné jednotky s rekuperačním výměníkem tepla; pro jednosměrné jednotky nebo jednotky s regeneračními výměníky tepla platí, že Q<sub>defr</sub> = 0.

SPI a η<sub>t</sub> jsou hodnoty odvozené ze zkoušek a metod výpočtu.

Další parametry a jejich výchozí hodnoty jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1  
Parametry výpočtu SEC

Obecná typologie					MISC
Jednotky vedené do potrubí					1,1
Bezpotrubní jednotky					1,21
Řízení větrání					CTRL
Ruční řízení (bez DCV)					1
Časové řízení (bez DCV)					0,95
Centrální řízení podle potřeby					0,85
Lokální řízení podle potřeby					0,65
Motor & pohon					hodnota x
Zapnuto/vypnuto & jediná rychlost					1
2 rychlosti					1,2
více rychlostí					1,5
proměnné otáčky					2
Klima	$t_h$	$\Delta T_h$	$t_{defr}$	$\Delta T_{defr}$	$Q_{defr} (1)$
	v h	v K	v h	v K	v kWh/m <sup>2</sup> .a
	Chladné	6 552	14,5	1 003	5,2
	Průměrné	5 112	9,5	168	2,4
Teplé	4 392	5	—	—	—
Výchozí hodnoty					hodnota
měrná tepelná kapacita vzduchu, $c_{air}$ v kWh/(m <sup>3</sup> K)					0,000344
čistý požadavek na větrání na m <sup>2</sup> vytápěné podlahové plochy, $q_{net}$ v m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>					1,3
referenční míra přirozené výměny vzduchu na m <sup>2</sup> vytápěné podlahové plochy, $q_{ref}$ v m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>					2,2
roční provozní hodiny, $t_a$ v h					8 760
faktor primární energie pro výrobu a distribuci elektrické energie, $p_{ef}$					2,5
účinnost vytápění prostor, $\eta_h$					75 %

převzato z [25]

## Příloha 2. Tepelná účinnost systému zpětného získávání tepla a korekce filtru

Dány v Příloha IX, Nařízení komise (ES) č. 1253/2014 MĚŘENÍ A VÝPOČTY U VĚTRACÍCH JEDNOTEK PRO JINÉ NEŽ OBYTNÉ BUDOVY část 1 a 2

### 1. Tepelná účinnost systému zpětného získávání tepla pro jiné než obytné budovy

Tepelná účinnost systému zpětného získávání tepla pro jiné než obytné budovy je definována jako

$$\eta_{t\_nrvu} = (t_2'' - t_2') / (t_1' - t_2')$$

kde:

- $\eta_{t\_ZZT}$  je tepelná účinnost systému zpětného získávání tepla [-],
- $t_2''$  je teplota přiváděného vzduchu, který proudí ze systému zpětného získávání tepla do místnosti [°C],
- $t_2'$  je teplota vnějšího vzduchu [°C],
- $t_1'$  je teplota odváděného vzduchu, který proudí z místnosti do systému zpětného získávání tepla [°C].

### 2. Korekce filtru

V případě, že v porovnání s referenční konfigurací jeden nebo oba filtry chybí, použije se následující korekce filtru:

Od 1. ledna 2016:

F = 0 v případě kompletní referenční konfigurace;

F = 160, jestliže chybí střední filtr;

F = 200, jestliže chybí jemný filtr;

F = 360, jestliže chybí střední i jemný filtr.

Od 1. ledna 2018:

F = 150, jestliže chybí střední filtr;

F = 190, jestliže chybí jemný filtr;

F = 340, jestliže chybí střední i jemný filtr.

převzato z [25]

### Příloha 3. Výstup ze softwaru Aero CAD Prodejna – Rotační výměník

ID nabídky  
 Projekt [2.1] Prodejna Rotační výměník  
 Číslo / Název zařízení 01 / Prodejna Rotační výměník  
 Určení jednotky Standardní prostředí



#### STRUČNÁ SPECIFIKACE ZAŘÍZENÍ

Základní parametry zařízení		
Druh, rozměr	AeroMaster XP 04	
Typ řídicího systému	Není	
Hmotnost (+10%)	667 kg	
Umístění jednotky	Vnitřní	
Materiálové provedení		
Vnější plášť	Pozinkovaný plech	
Vnitřní plášť	Pozinkovaný plech	
	Přívod	Odvod
Průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	2400 m <sup>3</sup> /h
Externí tlaková rezerva	100 Pa	135 Pa
Rychlost v průřezu	2.43 m/s	2.43 m/s
Příkon ventilátorů	1.22 kW	0.84 kW
1. stupeň filtrace	M5	M5
2. stupeň filtrace	-	-
SFP <sub>1</sub>	1837 W.m <sup>-1</sup> .s	1255 W.m <sup>-1</sup> .s

**Model box AMXP3**

Parametry pláště dle EN1886			
Celkový příkon jednotky	2.15 kW	Mechanická stabilita	D2(M)
Napájecí napětí		Netěsnost skříně	L2(M)
Celkový proud I <sub>max</sub>		Termická izolace	T3(M)
SFP <sub>WU</sub>	3091 W.m <sup>-1</sup> .s	Faktor tepelných mostů	TB3(M)
		Netěsnost mezi filtrem a rámem	< 0.5 % (F9)

Nejdůležitější parametry vybraných komponentů			
	Na straně vzduchu		Na straně média
Zpětný zisk tepla	-12.0 → 11.4 °C	73 %	
Ohřev	11.4 → 21.0 °C	7.8 kW	70/46 °C, Voda, 3.8 kPa, 0.29 m <sup>3</sup> /h
Chlazení	25.4 → 17.0 °C	6.6 kW	7/13 °C, Voda, 2.8 kPa, 0.94 m <sup>3</sup> /h

*Detailní specifikace a výsledné parametry jsou součástí detailní specifikace vzduchotechnického zařízení*

#### Hlukové parametry zařízení

Oktávové pásmo	LwA <sub>okt</sub> * [dB]								LwA** [dB(A)]
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
Přívod - sání	46	62	68	64	62	61	56	48	71
Přívod - výtlak	50	66	75	73	76	78	75	69	83
Přívod - okolí	43	50	56	46	46	47	45	36	58
Odvod - sání	45	60	65	63	64	62	57	49	70
Odvod - výtlak	48	62	67	67	69	70	66	59	75
Odvod - okolí	41	47	49	41	41	42	38	28	53

\* Hladiny akustického výkonu v oktávových pásmech

\*\* Celková hladina akustického výkonu

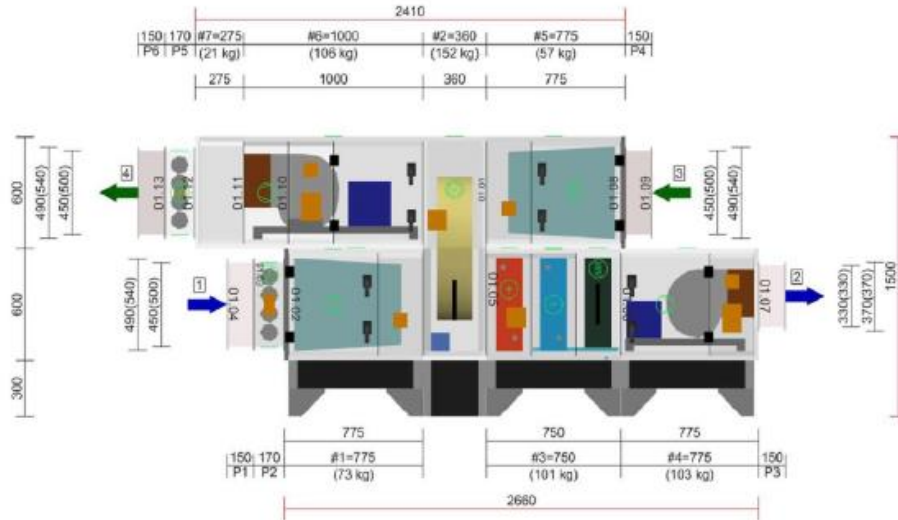
#### KOMENTÁŘ K TECHNICKÉ SPECIFIKACI ZAŘÍZENÍ

- Za ventilátor je doporučeno osadit difuzor, který usměrňuje proudění vzduchu. Při neosazení může dojít k nesplnění tlakových a hlukových parametrů zařízení.
- Zkontrolujte prosím reálnost osazení pantů servisních dveří! Některé komponenty mají pravděpodobně panty na nepřipustných místech!
- V zařízení je navržen rotační rekuperátor se sorpčním rotorem. Tento návrh je nutno konzultovat s výrobcem!

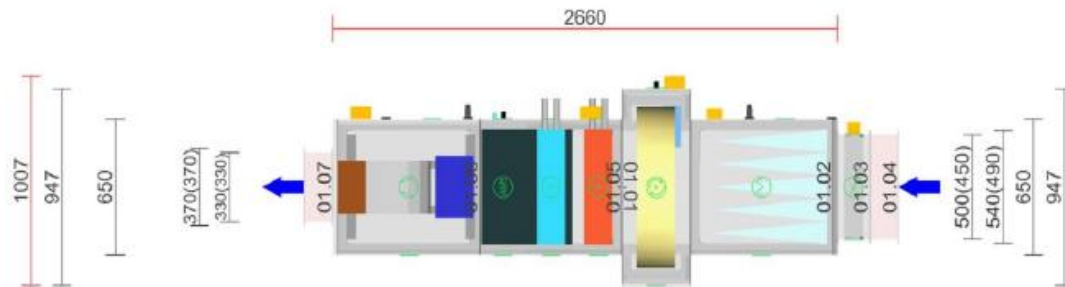
GRAFICKÉ POHLEDY

Bokorys servisní strany

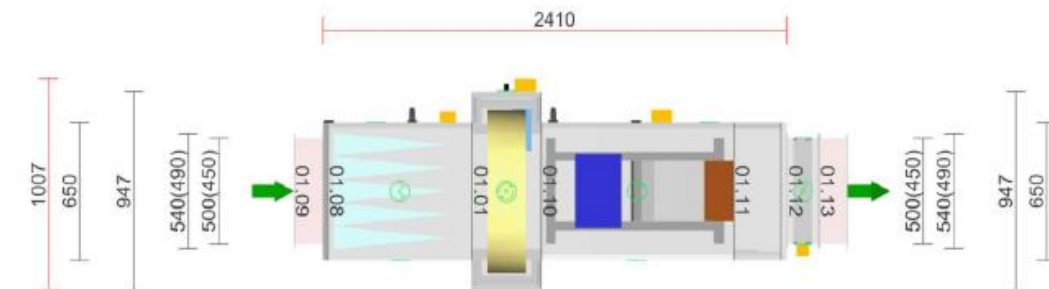
Číslování větví: 1 - venkovní vzduch, 2 - přívodní vzduch, 3 - odtahový vzduch, 4 - odpadní vzduch, 5 - cirkulační vzduch



Půdorys přívodní větve



Půdorys odtahové větve



ID nabídky  
 Projekt [2.1] Prodejna Rotační výměník  
 Číslo / Název zařízení 01 / Prodejna Rotační výměník  
 Určení jednotky Standardní prostředí



#### DETAILNÍ PARAMETRY ZAŘÍZENÍ

##### 01.04 Tlumicí vložka Přívod DV 500-450

Kód	VDV015045
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h

##### 01.03 Klapka Přívod LK 500-450

Kód	VLK015045
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h
Tlaková ztráta	2 Pa
Plocha klapky	0.23 m <sup>2</sup>
Třída těsnosti	2
Počet servopohonů	1 ks
Krouticí moment serva	4 Nm

##### Příslušenství vestavěné

- Servopohon LM 230A, Kód: XPSESL23-, Počet: 1

##### 01.02 Filtr Přívod XPNH 04/5 ECOD

Kód	XPNH004-S005S
Servisní přístup	Zprava
Materiál vnitřního pláště	Pozinkovaný plech
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h
Tlaková ztráta	123 Pa
Třída filtrace	M5
Typ filtru	Kapsový
Počáteční / Koncová tlaková ztráta	46 / 200 Pa

##### Příslušenství vestavěné

- Panel čelní - vstup XPK 04/P, Kód: XPK0004ZS-P, Počet: 1, Tlaková ztráta: 13 Pa
- Montážní sada panelu XPK 04/P (MSP), Kód: MPK0004ZS-P, Počet: 1
- Snímač tlakové difference P33 N (30 - 500 Pa), Kód: XPP33N, Počet: 1

##### Skladba filtru

- Kód AX **11Z50041864**
- Rozměr vložky (délka × výška × hloubka) 535x495x600 mm
- Třída filtrace M5
- Počet kapes v jedné vložce 5 ks
- Počet vložek v jedné filtrační vestavbě 1 ks

##### 01.01 Rotační rekuperátor Přívod/Odvod XPXR 04/0

Kód	XPXR004ZS0P02S10FRA		Zima		Léto	
			Přívod	Odvod	Přívod	Odvod
Nominální průtok vzduchu	2400 / 2400 m <sup>3</sup> /h	Teplota / Vlhkost -				
Tlaková ztráta	135 / 136 Pa	Vstup	-12.0 °C / 95 %		29.0 °C / 37 %	
Rychlost v průřezu	3.1 / 3.0 m/s	Výstup	11.4 °C / 80 %		25.4 °C / 41 %	
Typ výměníku	Sorpční SS	Teplota / Vlhkost -				
Výška vlny / šířka rotoru	1.9 / 200 mm	Vstup	20.0 °C / 60 %		24.0 °C / 43 %	
Průměr vnější	770 mm	Výstup	-0.5 °C / 100 %		27.6 °C / 37 %	
Motor						
Napájecí napětí	3NPE 400 V, 50 Hz	Teplotní účinnost		73 %		72 %
Výkon	90 W	Výkon				
Proud max.	6.10 A	Celkový výkon		29.3 kW		2.9 kW
Napájecí napětí regulátoru	1NPE 230 V, 50 Hz	Citelný výkon		18.3 kW		2.9 kW
		Vázaný výkon		11.0 kW		

##### Příslušenství nenamontované

- Regulátor otáček XPFM 0.37 (IP21) 1x230V (85 Hz), Kód: XPFMIM031A20, Počet: 1

ID nabídky

Projekt

Číslo / Název zařízení

Určení jednotky

[2.1] Prodejna Rotační výměník

01 / Prodejna Rotační výměník

Standardní prostředí



01.05 Vodní ohřivač	Přívod	XPNC 04/1R		
Kód	XPNC004-S01		Zima	Léto
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	Teplota / Vlhkost		
Tlaková ztráta	36 Pa	Vstup	11,4 °C / 80 %	25,4 °C / 41 %
Rychlost v průřezu	3,8 m/s	Výstup	21,0 °C / 44 %	25,4 °C / 41 %
Teplonosné medium	Voda			
Počet řad	1	Teplotní spád		70 / 46 °C
Počet okruhů	1			
Rozteč lamel	2,1 mm	Výkon		7,8 kW
Materiál				
Materiál trubek	Cu	Teplonosné medium		
Materiál lamel	Al	Průtok		0,29 m <sup>3</sup> /h
Připojení		Tlaková ztráta		3,8 kPa
Průměr připojení	1"			
Typ	6.35.CU.10.AL.17.01.0415.21.W.X.X.002.017.R 1" L			

Příslušenství vestavěné

- Směšovací uzel SUMX 1/EU (1), Kód: VSU0410B-, Počet: 1
- Protimrazové čidlo NS 130 R, Kód: XPNS130R, Počet: 1

01.05 Vodní chladič	Přívod	XPND 04/4R		
Kód	XPND004-S04		Zima	Léto
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	Teplota / Vlhkost		
Tlaková ztráta	121 Pa	Vstup	21,0 °C / 44 %	25,4 °C / 41 %
Suchá tlaková ztráta	121 Pa	Výstup	21,0 °C / 44 %	17,0 °C / 69 %
Rychlost v průřezu	3,8 m/s			
Teplonosné medium	Voda	Teplotní spád		7 / 13 °C
Počet řad	4			
Počet okruhů	1	Výkon		6,6 kW
Rozteč lamel	2,1 mm	Množství kondenzátu		0,0 kg/h
Materiál		Teplonosné medium		
Materiál trubek	Cu	Hmotnostní průtok		0,94 m <sup>3</sup> /h
Materiál lamel	Al	Tlaková ztráta		2,8 kPa
Připojení				
Průměr připojení	1"			
Typ	6.35.CU.10.AL.17.04.0415.21.W.X.X.009.068.R 1" L			

Poznámka: Ventilátor je navržen na základě mokré tlakové ztráty výměníku.

Příslušenství vestavěné

- Směšovací uzel chladiče SUMX 1,6/EU (1), Kód: VSU0416B-, Počet: 1

01.05 Eliminátor kapek	Přívod	XPNU 04		
Kód	XPNU004-S0			
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h			
Tlaková ztráta	31 Pa			

ID nabídky  
Projekt  
Číslo / Název zařízení  
Určení jednotky

[2.1] Prodejna Rotační výměník  
01 / Prodejna Rotační výměník  
Standardní prostředí



01.06 Ventilátor	Přívod	XPVA 200-140/100-1,1-J2 (IE2)
Kód	XPVA004ZS020PLFS2B11R1	
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	
Statický tlak	562 Pa	
Proud v pracovním bodě	2.30 A	
Otáčky ventilátoru (n)/(n <sub>max</sub> )	2025/- 1/min	
Výkon ventilátoru	0.97 kW	
Účinnost	51 %	
Elektrický příkon	1.22 kW	
Specifický výkon ventilátoru	1837 W.m <sup>-3</sup> .s	
Rychlost v průřezu	2.42 m/s	
Pracovní frekvence	50 Hz	
Převod	Řemenový	
Motor		
Třída účinnosti motoru	IE2	
Výkon motoru nom.	1100 W	
Napájecí napětí motoru	3NPE 400 V, 50 Hz	
Proud max.	2.42 A	
Počet pólů	2	
jištění	Termokontakty	

**Poznámka:** Ventilátor je navržen se zohledněním systémového efektu.

#### Příslušenství vestavěné

- Panel čelní - výtlak XPK 04/A, Kód: XPK0004ZS-A, Počet: 1
- Montážní sada panelu XPK 04/A (MSP), Kód: MPKO004ZS-A, Počet: 1
- Snímač tlakové difference P33 V (20 - 200 Pa), Kód: XPP33V, Počet: 1

#### Příslušenství nenamontované

- Regulátor výkonu XPFM 1.5 (IP21), Kód: XPFMIM153B20, Počet: 1

01.07 Tlumicí vložka	Přívod	DV 330-330
Kód	VDV013333	
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	
01.09 Tlumicí vložka	Odvod	DV 500-450
Kód	VDV015045	
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	
01.08 Filtr	Odvod	XPNH 04/5 ECOD
Kód	XPNH004-S005S	
Servisní přístup	Zleva	
Materiál vnitřního pláště	Pozinkovaný plech	
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	
Tlaková ztráta	123 Pa	
Třída filtrace	M5	
Typ filtru	Kapsový	
Počáteční / Koncová tlaková ztráta	46 / 200 Pa	

#### Příslušenství vestavěné

- Panel čelní - vstup XPK 04/P, Kód: XPK0004ZS-P, Počet: 1, Tlaková ztráta: 13 Pa
- Montážní sada panelu XPK 04/P (MSP), Kód: MPKO004ZS-P, Počet: 1
- Snímač tlakové difference P33 N (30 - 500 Pa), Kód: XPP33N, Počet: 1

#### Skladba filtru

- Kód AX **11Z50041864**
- Rozměr vložky (délka × výška × hloubka) 535x495x600 mm
- Třída filtrace M5
- Počet kapes v jedné vložce 5 ks

ID nabídky

Projekt

Číslo / Název zařízení

Určení jednotky

[2.1] Prodejna Rotační výměník

01 / Prodejna Rotační výměník

Standardní prostředí



- Počet vložek v jedné filtrační vestavbě 1 ks

01.10 Ventilátor	Odvod	XPVA 225-125/140-1,5-J4 (IE2)
Kód	XPVA004ZS022PJLD4B15R1	
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	
Statický tlak	423 Pa	
Proud v pracovním bodě	2.73 A	
Otáčky ventilátoru (n)/(nmax)	1584/- 1/min	
Výkon ventilátoru	0.68 kW	
Účinnost	55 %	
Elektrický příkon	0.84 kW	
Specifický výkon ventilátoru	1255 W.m <sup>-1</sup> .s	
Rychlost v průřezu	2.42 m/s	
Pracovní frekvence	50 Hz	
Převod	Řemenový	
Motor		
Třída účinnosti motoru	IE2	
Výkon motoru nom.	1500 W	
Napájecí napětí motoru	3NPE 400 V, 50 Hz	
Proud max.	3.49 A	
Počet pólů	4	
Jištění	Termokontakty	

Poznámka: Ventilátor je navržen se zohledněním systémového efektu.

#### Příslušenství vestavěné

- Panel čelní - výtlač XPM 04/A, Kód: XPM0004-S-A, Počet: 1
- Snímač tlakové difference P33 V (20 - 200 Pa), Kód: XPP33V, Počet: 1

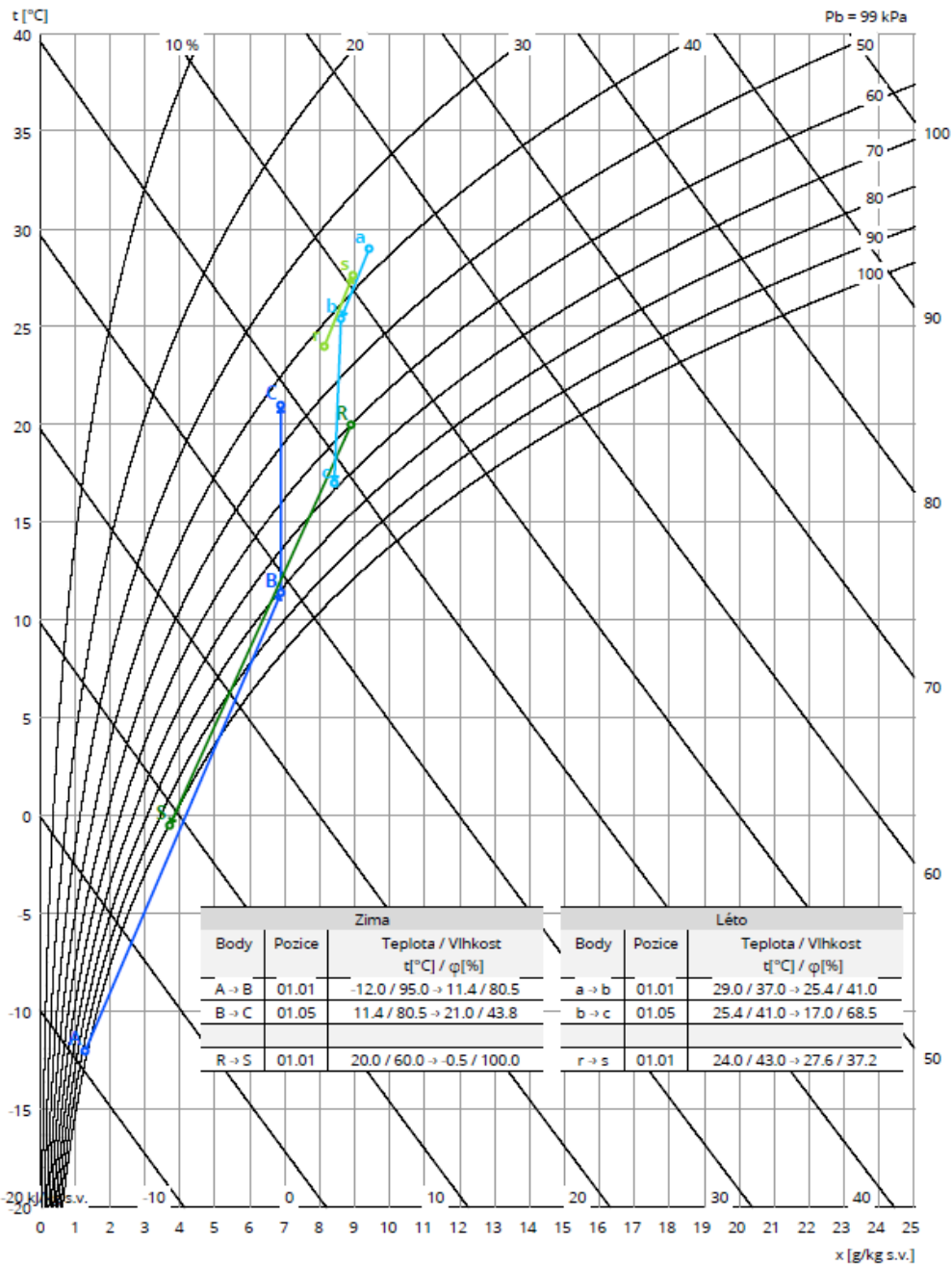
#### Příslušenství nenamontované

- Regulátor výkonu XPFM 1.5 (IP21), Kód: XPFMIM153B20, Počet: 1

01.11 Sekce prázdná	Odvod	XPJP 04/K
Kód	XPJP004ZS0-K	
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	
Příslušenství vestavěné		
• Panel čelní - výstup XPK 04/P, Kód: XPK0004ZS-P, Počet: 1, Tlaková ztráta: 13 Pa		
• Montážní sada panelu XPK 04/P (MSP), Kód: MPKO004ZS-P, Počet: 1		
01.12 Klapka	Odvod	LK 500-450
Kód	VLK015045	
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	
Tlaková ztráta	2 Pa	
Plocha klapek	0.23 m <sup>2</sup>	
Třída těsnosti	2	
Počet servopohonů	1 ks	
Krouticí moment serva	4 Nm	
Příslušenství vestavěné		
• Servopohon LM 230A, Kód: XPSESL23-, Počet: 1		

01.13 Tlumič vložka	Odvod	DV 500-450
Kód	VDV015045	
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	

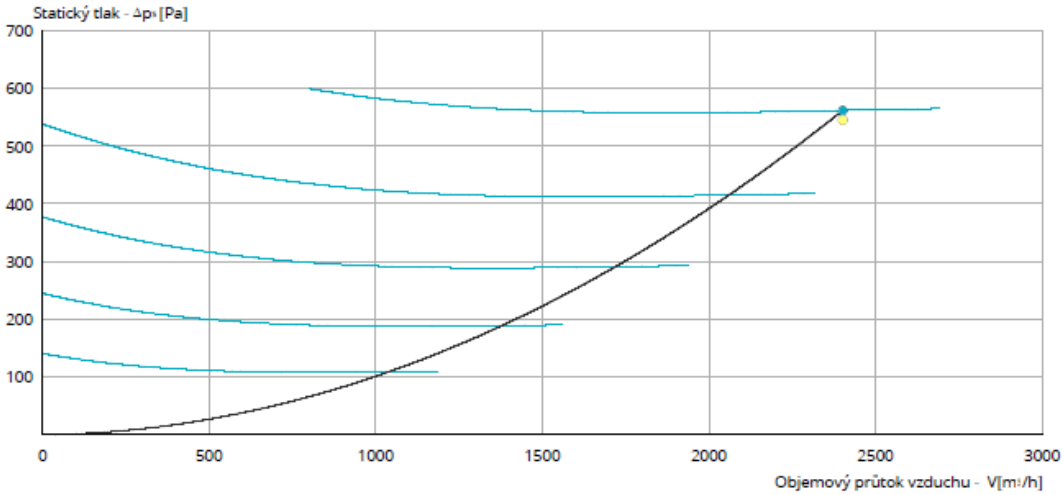
Psychrometrický diagram



**Charakteristika ventilátorů**

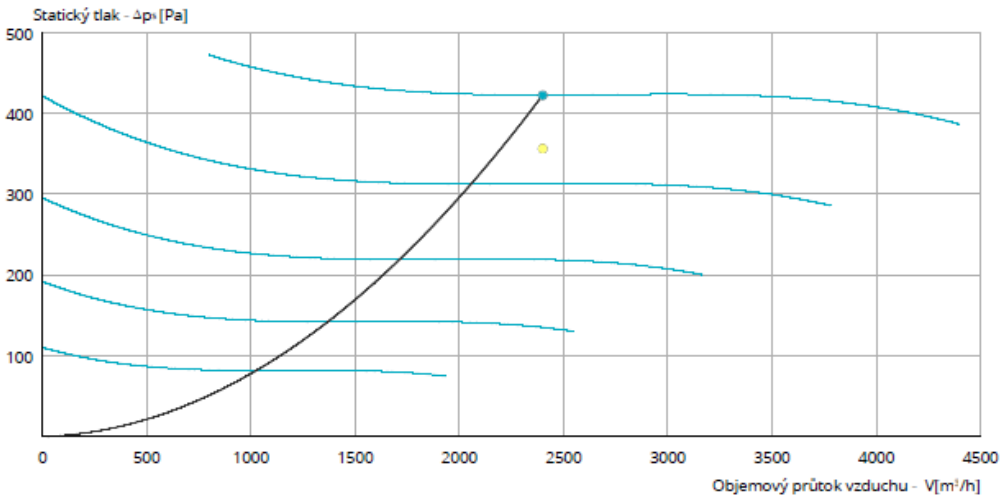
**Přivodní větev**

Typ	$V_v$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Sigma \Delta p_i$ [Pa]	$\Sigma \Delta p_e$ [Pa]	n [1/min]	U [V]	P [kW]	$\eta$ [%]
XPVA 200-140/100-1,1-J2 (E2)	2400	562	624	2025	3NPE 400 V, 50 Hz	0.97	51



**Odvodní větev**

Typ	$V_v$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Sigma \Delta p_i$ [Pa]	$\Sigma \Delta p_e$ [Pa]	n [1/min]	U [V]	P [kW]	$\eta$ [%]
XPVA 225-125/140-1,5-J4 (E2)	2400	423	461	1584	3NPE 400 V, 50 Hz	0.68	55



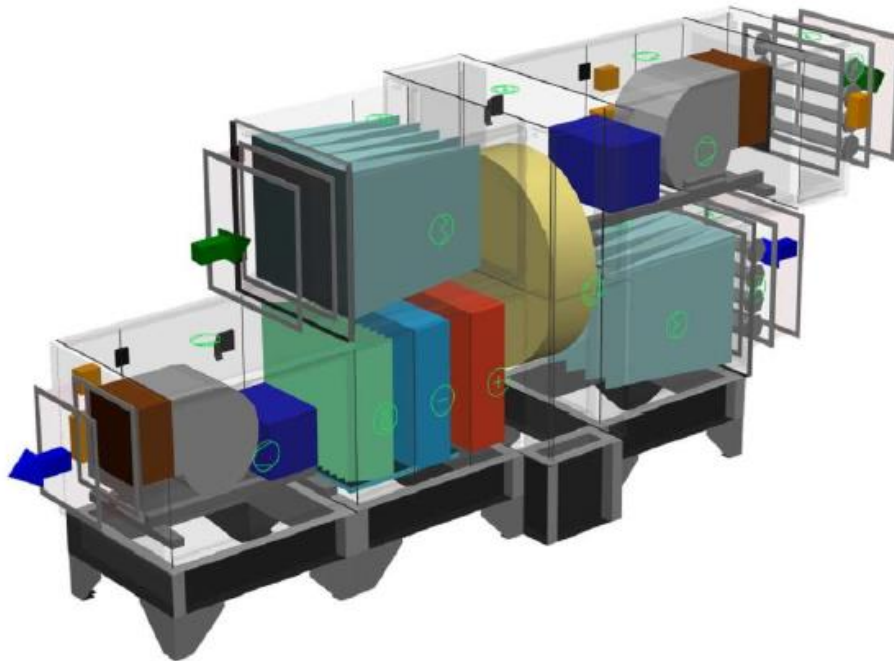
ID nabídky  
Projekt  
Číslo / Název zařízení  
Určení jednotky

[2.1] Prodejna Rotační výměník  
01 / Prodejna Rotační výměník  
Standardní prostředí

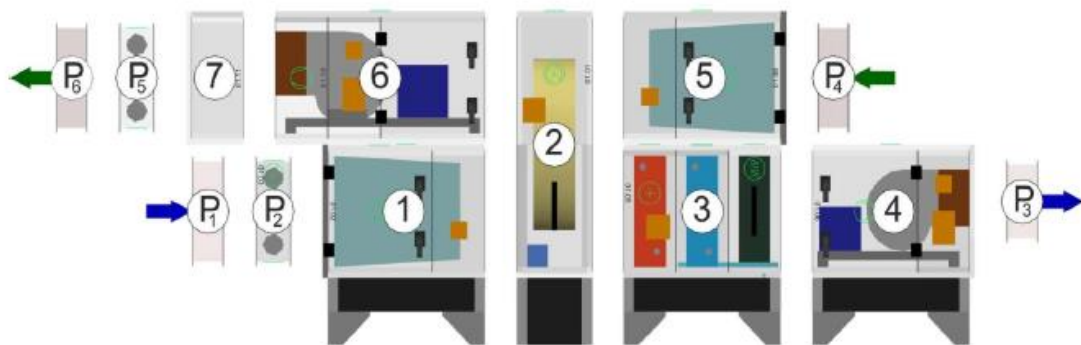


ROZŠÍŘENÝ VÝKRESOVÝ VÝSTUP

Axonometrický pohled na zařízení



Transportní bloky



## Příloha 4. Výstup ze softwaru Aero CAD Prodejna – Deskový výměník

ID nabídky  
 Projekt [2.1] Prodejna Rotační výměník  
 Číslo / Název zařízení 02 / Prodejna Deskový výměník  
 Určení jednotky Standardní prostředí



### STRUČNÁ SPECIFIKACE ZAŘÍZENÍ

#### Základní parametry zařízení

Druh, rozměr AeroMaster XP 04  
 Typ řídicího systému Nemí

Hmotnost (+10%) 733 kg  
 Umístění jednotky Vnitřní

Materiálové provedení  
 Vnější plášť Pozinkovaný plech  
 Vnitřní plášť Pozinkovaný plech

	Přívod	Odvod
Průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	2400 m <sup>3</sup> /h
Externí tlaková rezerva	105 Pa	88 Pa
Rychlost v průřezu	2.43 m/s	2.43 m/s
Příkon ventilátorů	1.22 kW	0.68 kW
1. stupeň filtrace	M5	M5
2. stupeň filtrace	-	-
SFP <sub>AHU</sub>	1837 W.m <sup>-1</sup> .s	1024 W.m <sup>-1</sup> .s

#### Model box AMXP3



		Parametry pláště dle EN1886	
Celkový příkon jednotky	1.91 kW	Mechanická stabilita	D2(M)
Napájecí napětí		Netěsnost skříně	L2(M)
Celkový proud I <sub>max</sub>		Termická izolace	T3(M)
SFP <sub>AHU</sub>	2861 W.m <sup>-1</sup> .s	Faktor tepelných mostů	TB3(M)
		Netěsnost mezi filtrem a rámem	< 0,5 % (F9)

#### Nejdůležitější parametry vybraných komponentů

	Na straně vzduchu		Na straně média
Zpětný zisk tepla	-12.0 → 6.0 °C	56 %	
Ohřev	6.0 → 21.0 °C	12.5 kW	70/36 °C, Voda, 1.4 kPa, 0.32 m <sup>3</sup> /h
Chlazení	29.0 → 17.7 °C	9.1 kW	7/13 °C, Voda, 5.0 kPa, 1.30 m <sup>3</sup> /h

Detailní specifikace a výsledné parametry jsou součástí detailní specifikace vzduchotechnického zařízení

#### Hlukové parametry zařízení

	LwAokt* [dB]								LwA** [dB(A)]
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
Přívod - sání	47	61	67	62	62	60	54	47	70
Přívod - výtlak	50	66	75	73	76	78	75	69	83
Přívod - okolí	43	50	56	46	46	47	45	36	58
Odvod - sání	44	58	61	60	63	59	54	46	68
Odvod - výtlak	45	60	63	64	68	67	64	56	73
Odvod - okolí	39	45	46	39	40	39	36	25	50

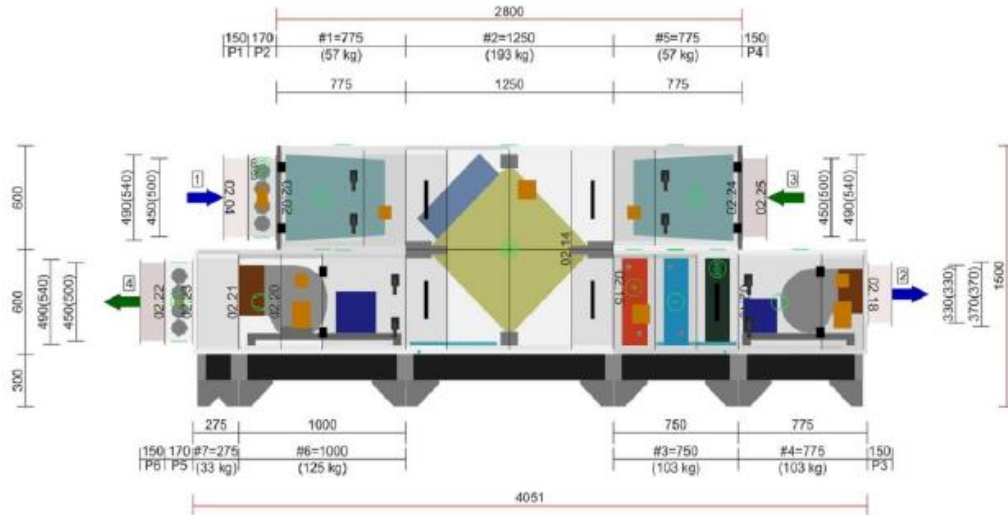
\* Hladiny akustického výkonu v oktávnových pásmech

\*\* Celková hladina akustického výkonu

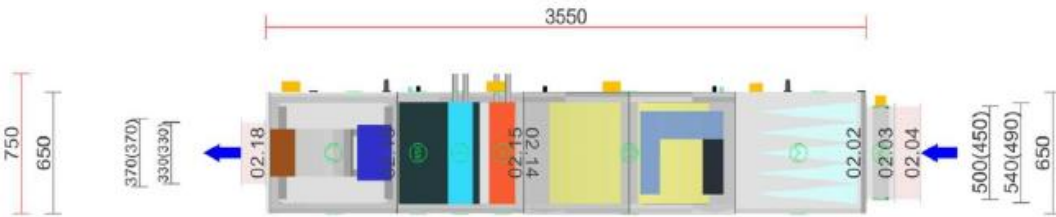
GRAFICKÉ POHLEDY

Bokorys servisní strany

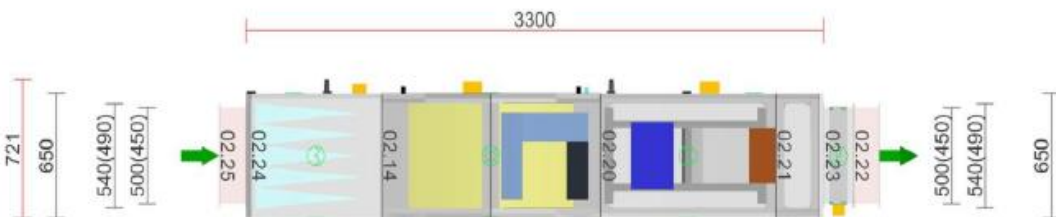
Číslování větví: 1 - venkovní vzduch, 2 - přívodní vzduch, 3 - odtahový vzduch, 4 - odpadní vzduch, 5 - cirkulační vzduch



Půdorys přívodní větve



Půdorys odtahové větve



ID nabídky  
 Projekt [2.1] Prodejna Rotační výměník  
 Číslo / Název zařízení 02 / Prodejna Deskový výměník  
 Určení jednotky Standardní prostředí



#### DETAILNÍ PARAMETRY ZAŘÍZENÍ

##### 02.04 Tlumič vložka Přívod DV 500-450

Kód	VDV015045
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h

##### 02.03 Klapka Přívod LK 500-450

Kód	VLK015045
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h
Tlaková ztráta	2 Pa
Plocha klapek	0.23 m <sup>2</sup>
Třída těsnosti	2
Počet servopohonů	1 ks
Krouticí moment serva	4 Nm

#### Příslušenství vestavěné

- Servopohon LM 230A, Kód: XPSESL23, Počet: 1

##### 02.02 Filtr Přívod XPNH 04/5 ECOD

Kód	XPNH004-S0055
Servisní přístup	Zprava
Materiál vnitřního pláště	Pozinkovaný plech
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h
Tlaková ztráta	123 Pa
Třída filtrace	M5
Typ filtru	Kapsový
Počáteční / Koncová tlaková ztráta	46 / 200 Pa

#### Příslušenství vestavěné

- Panel čelní - vstup XPK 04/P, Kód: XPK0004ZS-P, Počet: 1, Tlaková ztráta: 13 Pa
- Montážní sada panelu XPK 04/P (MSP), Kód: MPK0004ZS-P, Počet: 1
- Snímač tlakové difference P33 N (30 - 500 Pa), Kód: XPP33N, Počet: 1

#### Skladba filtru

- Kód AX **11Z50041864**
- Rozměr vložky (délka × výška × hloubka) 535x495x600 mm
- Třída filtrace M5
- Počet kapes v jedné vložce 5 ks
- Počet vložek v jedné filtrační vestavbě 1 ks

##### 02.14 Deskový rekuperátor Přívod/Odvod XPMK 04/BPW (SV - 70/W - 54,5 - Optim)

Kód	XPMK104Z50-L11P200SVDW01	Přívod		
		Zima	Léto	
Nominální průtok vzduchu	2400 / 2400 m <sup>3</sup> /h	Teplota / Vlhkost - Přívod		
Tlaková ztráta	95 / 102 Pa	Vstup	-12.0 °C / 95 %	29.0 °C / 37 %
Rychlost v průřezu	5.4 / 5.7 m/s	Výstup	6.0 °C / 22 %	29.0 °C / 37 %
Materiálové provedení kostky	V - Standard	Teplota / Vlhkost - Odvod		
Typ	-	Vstup	20.0 °C / 60 %	24.0 °C / 43 %
		Výstup	7.4 °C / 88 %	24.0 °C / 43 %
		Účinnost	56 %	

#### Příslušenství vestavěné

- Obtoková klapka LK (PMO), Kód: , Počet: 1

ID nabídky  
Projekt  
Číslo / Název zařízení  
Určení jednotky

[2.1] Prodejna Rotační výměník  
02 / Prodejna Deskový výměník  
Standardní prostředí



02.15 Vodní ohřivač		Přívod	XPNC 04/2R	
Kód	XPNC004-S02		Zima	Léto
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	Teplota / Vlhkost		
Tlaková ztráta	69 Pa	Vstup	6.0 °C / 22 %	29.0 °C / 37 %
Rychlost v průřezu	3.8 m/s	Výstup	21.0 °C / 8 %	29.0 °C / 37 %
Teplonosné médium	Voda			
Počet řad	2	Teplotní spád	70 / 36 °C	
Počet okruhů	1			
Rozteč lamel	2.1 mm	Výkon	12.5 kW	
Materiál				
Materiál trubek	Cu	Teplonosné médium		
Materiál lamel	Al	Průtok	0.32 m <sup>3</sup> /h	
Připojení		Tlaková ztráta	1.4 kPa	
Průměr připojení	1"			
Typ	6.35.CU.10.AL.17.02.0415.21.W.X.X.004.034.R 1" L			

**Příslušenství vestavěné**

- Směšovací uzel SUMX 1/EU (1), Kód: VSU0410B-, Počet: 1
- Protimrazové čidlo NS 130 R, Kód: XPNS130R, Počet: 1

02.15 Vodní chladič		Přívod	XPND 04/4R	
Kód	XPND004-S04		Zima	Léto
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	Teplota / Vlhkost		
Tlaková ztráta	122 Pa	Vstup	21.0 °C / 8 %	29.0 °C / 37 %
Suchá tlaková ztráta	119 Pa	Výstup	21.0 °C / 8 %	17.7 °C / 72 %
Rychlost v průřezu	3.8 m/s			
Teplonosné médium	Voda	Teplotní spád	7 / 13 °C	
Počet řad	4			
Počet okruhů	1	Výkon	9.1 kW	
Rozteč lamel	2.1 mm	Množství kondenzátu	0.5 kg/h	
Materiál		Teplonosné médium		
Materiál trubek	Cu	Hmotnostní průtok	1.30 m <sup>3</sup> /h	
Materiál lamel	Al	Tlaková ztráta	5.0 kPa	
Připojení				
Průměr připojení	1"			
Typ	6.35.CU.10.AL.17.04.0415.21.W.X.X.009.068.R 1" L			

**Poznámka:** Ventilátor je navržen na základě mokré tlakové ztráty výměníku.

**Příslušenství vestavěné**

- Směšovací uzel chladiče SUMX 1,6/EU (4), Kód: VSU0416B-, Počet: 1

02.15 Eliminátor kapek		Přívod	XPNU 04
Kód	XPNU004-S0		
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h		
Tlaková ztráta	31 Pa		

ID nabídky  
 Projekt [2.1] Prodejna Rotační výměník  
 Číslo / Název zařízení 02 / Prodejna Deskový výměník  
 Určení jednotky Standardní prostředí



02.19 Ventilátor	Přívod	XPVA 200-140/100-1,1-J2 (IE2)
Kód	XPVA004ZS020PLFS2B11R1	
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	
Statický tlak	562 Pa	
Proud v pracovním bodě	2.30 A	
Otáčky ventilátoru (n)/(nmax)	2025/- 1/min	
Výkon ventilátoru	0.97 kW	
Účinnost	51 %	
Elektrický příkon	1.22 kW	
Specifický výkon ventilátoru	1837 W.m <sup>-3</sup> .s	
Rychlost v průřezu	2.42 m/s	
Pracovní frekvence	50 Hz	
Převod	Řemenový	
Motor		
Třída účinnosti motoru	IE2	
Výkon motoru nom.	1100 W	
Napájecí napětí motoru	3NPE 400 V, 50 Hz	
Proud max.	2.42 A	
Počet pólů	2	
jistění	Termokontakty	

Poznámka: Ventilátor je navržen se zohledněním systémového efektu.

#### Příslušenství vestavěné

- Panel čelní - výtlak XPK 04/A, Kód: XPKO004ZS-A, Počet: 1
- Montážní sada panelu XPK 04/A (MSP), Kód: MPKO004ZS-A, Počet: 1
- Snímač tlakové difference P33 V (20 - 200 Pa), Kód: XPP33V, Počet: 1

#### Příslušenství nenamontované

- Regulátor výkonu XPFM 1.5 (IP21), Kód: XPFMIM153B20, Počet: 1

02.18 Tlumicí vložka	Přívod	DV 330-330
Kód	VDV013333	
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	

02.25 Tlumicí vložka	Odvod	DV 500-450
Kód	VDV015045	
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	

02.24 Filtr	Odvod	XPNH 04/5 ECOD
Kód	XPNH004-S005S	
Servisní přístup	Zleva	
Materiál vnitřního pláště	Pozinkovaný plech	
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	
Tlaková ztráta	123 Pa	
Třída filtrace	M5	
Typ filtru	Kapsový	
Počáteční / Koncová tlaková ztráta	46 / 200 Pa	

#### Příslušenství vestavěné

- Panel čelní - vstup XPK 04/P, Kód: XPKO004ZS-P, Počet: 1, Tlaková ztráta: 13 Pa
- Montážní sada panelu XPK 04/P (MSP), Kód: MPKO004ZS-P, Počet: 1
- Snímač tlakové difference P33 N (30 - 500 Pa), Kód: XPP33N, Počet: 1

#### Skladba filtru

- Kód AX **11Z50041864**
- Rozměr vložky (délka × výška × hloubka) 535x495x600 mm
- Třída filtrace M5
- Počet kapes v jedné vložce 5 ks

ID nabídky  
Projekt  
Číslo / Název zařízení  
Určení jednotky

[2.1] Prodejna Rotační výměník  
02 / Prodejna Deskový výměník  
Standardní prostředí



- Počet vložek v jedné filtrační vestavbě 1 ks

02.20 Ventilátor	Odvod	XPVA 225-125/125-1,5-J4 (IE2)
Kód	XPVA004ZS022PJJ04B15R1	
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	
Statický tlak	342 Pa	
Proud v pracovním bodě	2.68 A	
Otáčky ventilátoru (n)/(n <sub>max</sub> )	1425/- 1/min	
Výkon ventilátoru	0.55 kW	
Účinnost	55 %	
Elektrický příkon	0.68 kW	
Specifický výkon ventilátoru	1024 W.m <sup>-3</sup> .s	
Rychlost v průřezu	2.42 m/s	
Pracovní frekvence	50 Hz	
Převod	Řemenový	
Motor		
Třída účinnosti motoru	IE2	
Výkon motoru nom.	1500 W	
Napájecí napětí motoru	3NPE 400 V, 50 Hz	
Proud max.	3.49 A	
Počet pólů	4	
jištění	Termokontakty	

Poznámka: Ventilátor je navržen se zohledněním systémového efektu.

#### Příslušenství vestavěné

- Panel čelní - výtlak XPM 04/A, Kód: XPM004 S A, Počet: 1
- Snímač tlakové difference P33 V (20 - 200 Pa), Kód: XPP33V, Počet: 1

#### Příslušenství nenamontované

- Regulátor výkonu XPFM 1.5 (IP21), Kód: XPFMIM153B20, Počet: 1

02.21 Sekce prázdná	Odvod	XPJP 04/K
Kód	XPJP004ZS0-K	
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	

#### Příslušenství vestavěné

- Panel čelní - výstup XPK 04/P, Kód: XPK0004ZS-P, Počet: 1, Tlaková ztráta: 13 Pa
- Montážní sada panelu XPK 04/P (MSP), Kód: MPK0004ZS-P, Počet: 1

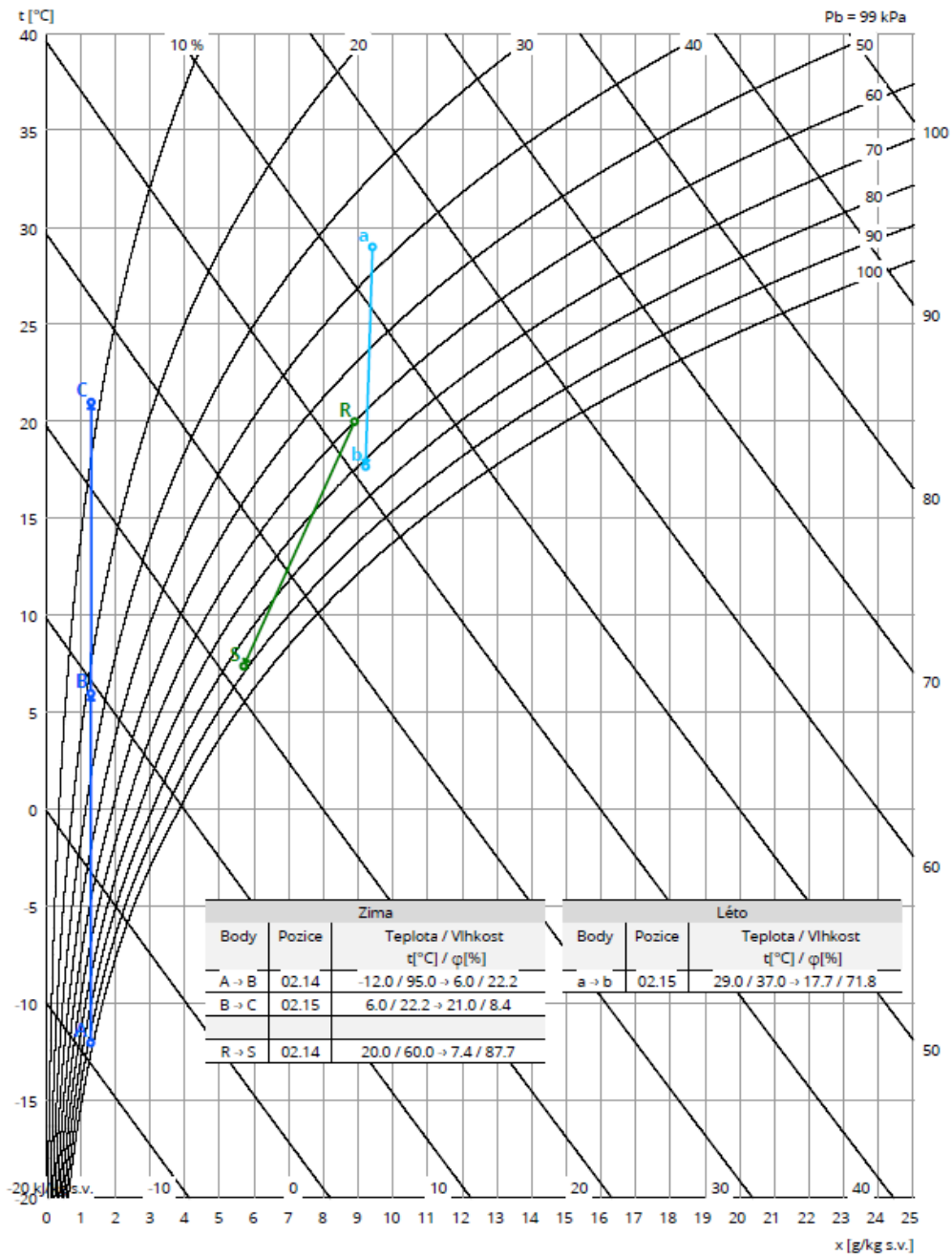
02.23 Klapka	Odvod	LK 500-450
Kód	VLK015045	
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	
Tlaková ztráta	2 Pa	
Plocha klapek	0.23 m <sup>2</sup>	
Třída těsnosti	2	
Počet servopohonů	1 ks	
Krouticí moment serva	4 Nm	

#### Příslušenství vestavěné

- Servopohon LM 230A, Kód: XPSESL23-, Počet: 1

02.22 Tlumicí vložka	Odvod	DV 500-450
Kód	VDV015045	
Nominální průtok vzduchu	2400 m <sup>3</sup> /h	

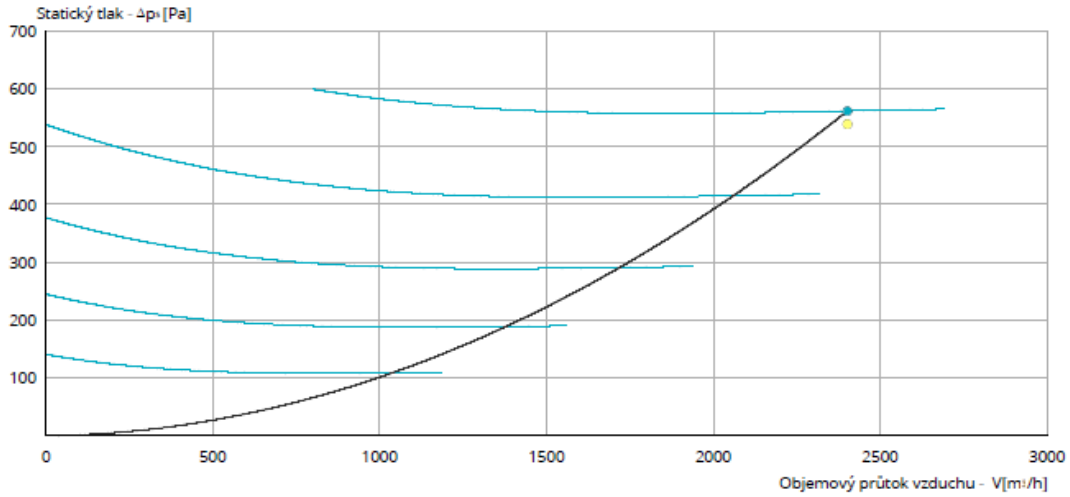
Psychrometrický diagram



**Charakteristika ventilátorů**

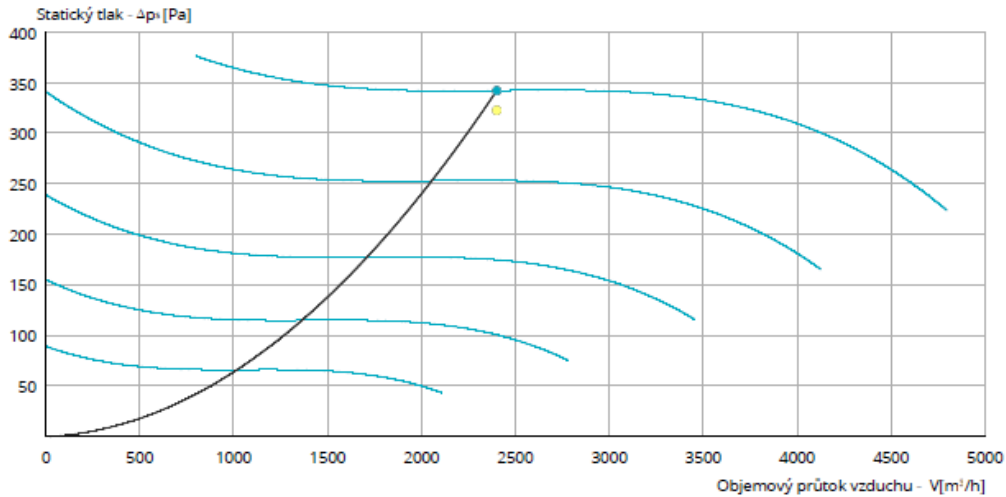
**Přívodní větev**

Typ	$V_v$ [m³/h]	$\Sigma \Delta p_i$ [Pa]	$\Sigma \Delta p_e$ [Pa]	$n$ [1/min]	$U$ [V]	$P$ [kW]	$\eta$ [%]
XPVA 200-140/100-1.1-J2 (IE2)	2400	562	624	2025	3NPE 400 V, 50 Hz	0.97	51



**Odvodní větev**

Typ	$V_v$ [m³/h]	$\Sigma \Delta p_i$ [Pa]	$\Sigma \Delta p_e$ [Pa]	$n$ [1/min]	$U$ [V]	$P$ [kW]	$\eta$ [%]
XPVA 225-125/125-1.5-J4 (IE2)	2400	342	381	1425	3NPE 400 V, 50 Hz	0.55	55



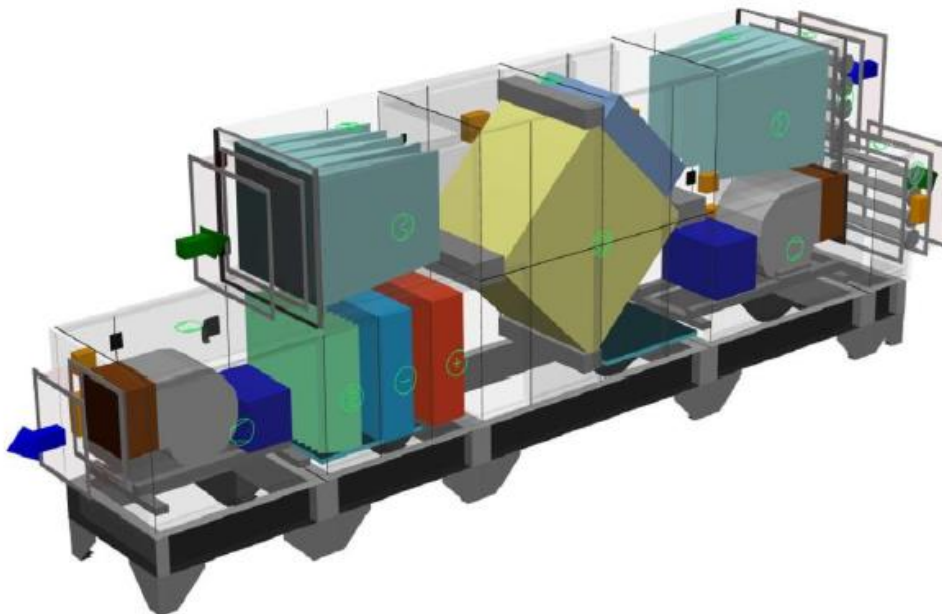
ID nabídky  
Projekt  
Číslo / Název zařízení  
Určení jednotky

[2.1] Prodejna Rotační výměník  
02 / Prodejna Deskový výměník  
Standardní prostředí

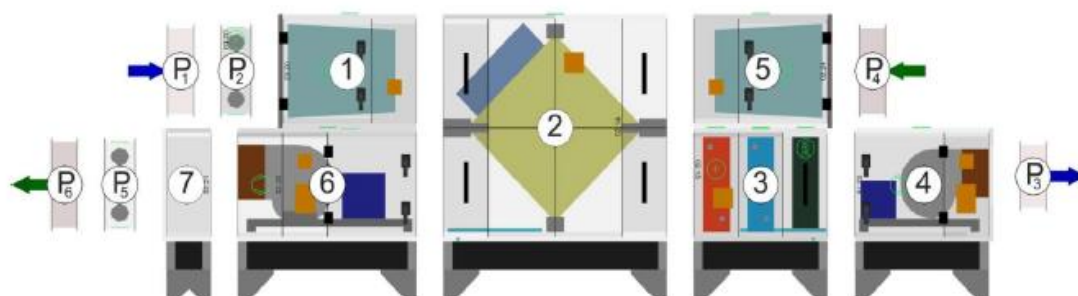


### ROZŠÍŘENÝ VÝKRESOVÝ VÝSTUP

#### Axonometrický pohled na zařízení



#### Transportní bloky



## Příloha 5. Výstup ze softwaru Mitsubishi Electric– Entalpický výměník

### Lossnay Selection

### Lossnay Selection

**Selection**

▶ Power Supply: 230V 50Hz

▶ Selected Lossnay model & Fan Speed: LGH-100RVX-E x 3unit, "3(High)"

▶ Inlet Heater:  Necessary  Unnecessary

▶ Room Conditions: Airflow per person: 1 m<sup>3</sup>/h, Number of persons: 1, Total supply air: 2400 m<sup>3</sup>/h

▶ Heat exchange efficiency (%): 82,3

▶ Enthalpy exchange efficiency (%): 73,6

▶ Sound level (dB): 31

**Outdoor air (OA)**

Dry bulb temperature (°C)	-12
Relative humidity (%)	95
Absolute humidity (g/kg)	1,3
Enthalpy (kJ/kg)	-8,8
External static pressure (Pa)	87

**Room air (RA)**

Dry bulb temperature (°C)	20
Relative humidity (%)	60
Absolute humidity (g/kg)	8,7
Enthalpy (kJ/kg)	42,3

**Supply air (SA)**

	Lossnay	Sensible heat exchanger	Conventional ventilator
Dry bulb temperature (°C)	14,3	14,3	-12
Absolute humidity (g/kg)	5,7	1,3	1,3
Relative humidity (%)	56	13	95
Enthalpy (kJ/kg)	28,7	17,7	-8,8
Enthalpy (kcal/kg)	6,9	4,2	-2
<b>Total heat recovered (kW)</b>	<b>30,2</b>	<b>21,3</b>	<b>0,0</b>
<b>Total heat recovered (kcal/h)</b>	<b>25945,3</b>	<b>18315,9</b>	<b>0,0</b>
Outdoor air load (kW)	10,8	19,7	41
Outdoor air load (kcal/h)	9306,5	16935,8	35251,7
Outdoor air load ratio (%)	26	48	100
Real air volume (m <sup>3</sup> /h)	2403	-----	-----

Real Air Volume is calculated without taking into consideration Heaters static pressure loss.

This calculated value is an approximate value, which may vary depending on the environment of actual use of the device.

Psychrometric chart
Lossnay Economical Calculation
Print
Specification

### Lossnay Economical Calculation

### Lossnay Economical Calculation

**Selection**

▶ Power Supply: 230V 50Hz

▶ Selected Models: LGH-100RVX-E

▶ Air volume: 3(High)

▶ Units: 3

**Supply air (SA)**

	Heating (Winter)	Cooling (Summer)
Dry bulb temperature (°C)	14,3	25,2
Relative humidity (%)	56,2	42,1
Enthalpy (kJ/kg)	28,7	46,7

**Outdoor Condition**

	Heating (Winter)	Cooling (Summer)
Temperature (°C)	-12	29
Relative humidity (%)	95	37
Enthalpy (kJ/kg)	-8,7	52,7

**Indoor Condition**

	Heating (Winter)	Cooling (Summer)
Supply Air (m <sup>3</sup> /h)	2402	
Supply Static Pressure (Pa)	87	
Temperature (°C)	20	24
Relative humidity (%)	60	43
Enthalpy (kJ/kg)	42,2	44,5

Operation Time: hour/day: 24, day/month: 31, month/year: 8

Energy cost: 1,45, COP: 2

	Heating (Winter)	Cooling (Summer)
Temp Efficiency (%)	82,3	76,5
Enthalpy Efficiency (%)	73,6	72,5

Outdoor(Supply) air load	Heating (Winter)	Cooling (Summer)
Lossnay (kW)	10,8	1,76
Sensible heat exchanger (kW)	19,64	3,43
Conventional ventilator (kW)	40,87	6,54
Lossnay Total heat recovered (kW)	30,07	4,78
Outdoor air ratio (%)	26	27

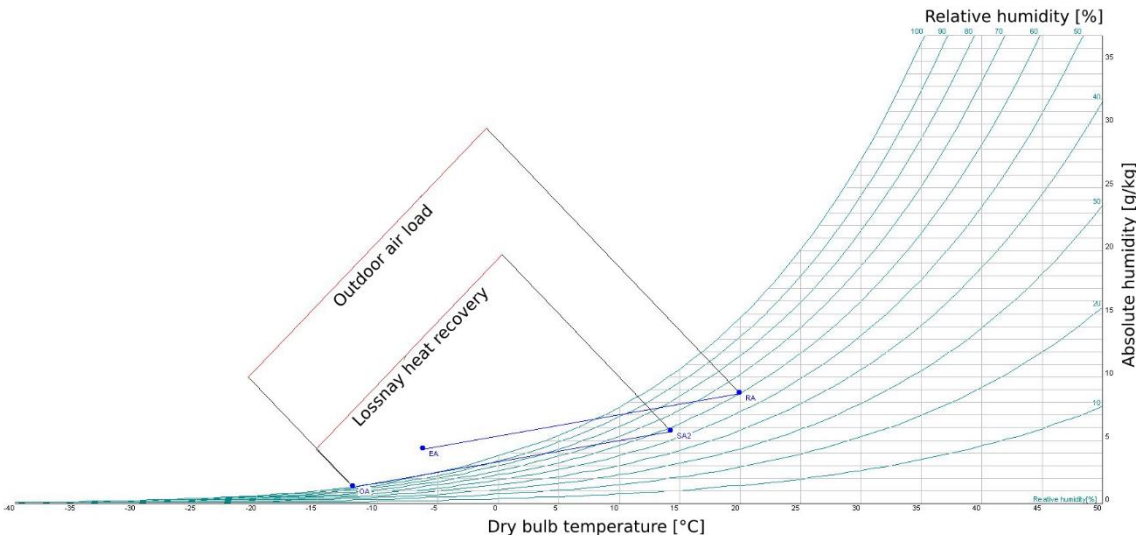
Outdoor air load Heating(Winter)

Outdoor air load Cooling(Summer)

This calculated value is an approximate value, which may vary depending on the environment of actual use of the device.

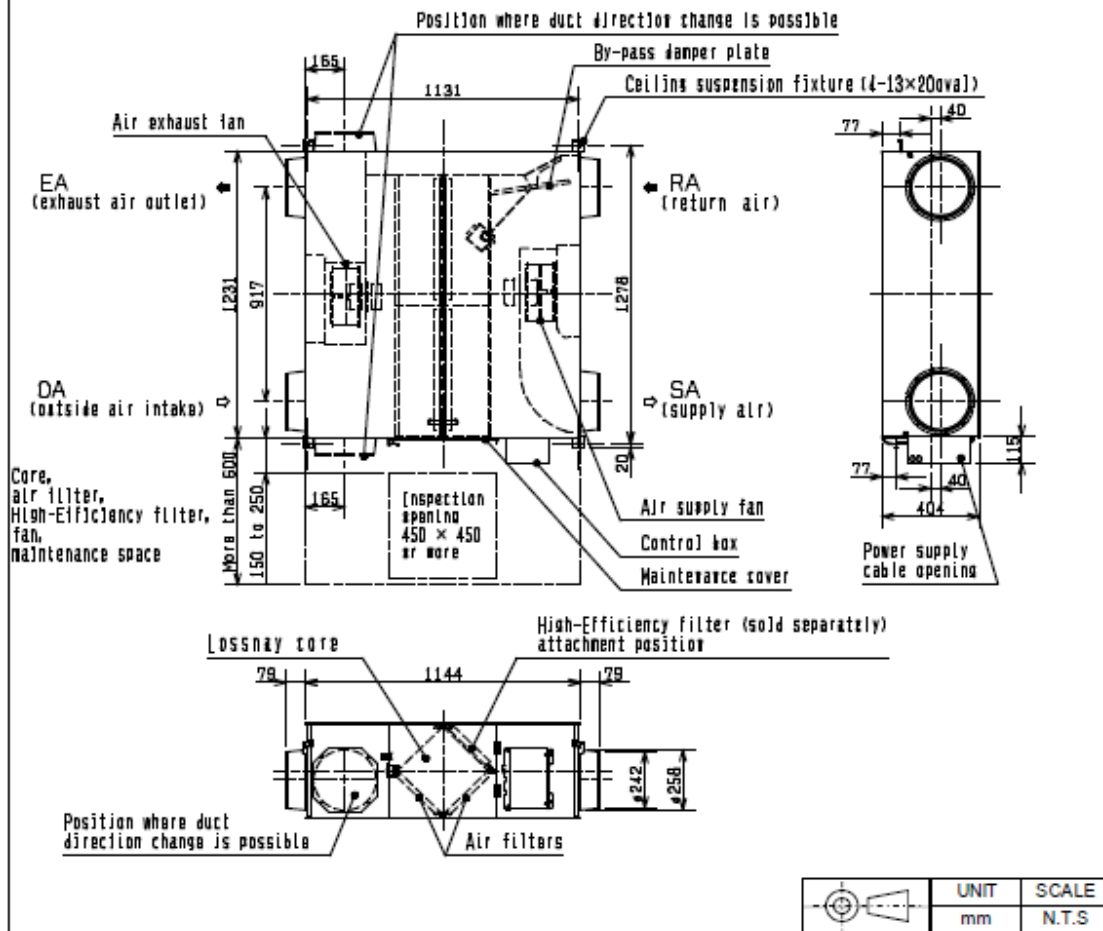
Pay Back
Lossnay Selection
Print
Specification

Lossnay Psychrometric chart



MODEL		LGH-100RVX-E				SIGN			
Heat exchange system		Heat recovery ventilating system							
Heat exchanger material		Special treated paper plate heat exchanger							
Cladding		Galvanized steel sheet							
Heat insulation material		Self-extinguishing urethane foam							
Motor		EC motor							
Blower		245mm diameter centrifugal fan							
Filter		Non-woven fabrics filter (Gravitational method 82% EU-G3)							
Surrounding air condition		Shall be between -10°C and 40°C, 80%RH or less							
Suction air condition		Shall be lower than 40°C, 80%RH							
Supply fan operation under low outdoor temperature		-10°C to -15°C : Intermittent operation 80 min ON, 10 min OFF. -15°C or less : Intermittent operation 55 min OFF, 5 min ON.							
Function		Heat recovery ventilation/ Bypass ventilation, Fan speed 1,2,3,4							
Weight		54kg							
Electrical power supply		220-240V/50Hz, 220V/60Hz							
Ventilation mode		Heat recovery mode				Bypass mode			
Fan speed		SP4	SP3	SP2	SP1	SP4	SP3	SP2	SP1
Running current [A]		2.50	1.20	0.50	0.17	2.50	1.20	0.51	0.19
Input power [W]		420	200	75	21	420	200	75	23
Air volume		1000	750	500	250	1000	750	500	250
		[m <sup>3</sup> /h]							
		[L/s]							
External static pressure [Pa]		170	96	43	11	170	96	43	11
Exchange Temperature		80.0	83.0	86.5	89.5	-	-	-	-
efficiency Enthalpy Heating		72.5	74.0	78.0	87.0	-	-	-	-
[%] Cooling		71.0	73.0	77.0	85.5	-	-	-	-
Noise [dB]		37.0	31.0	23.0	18.0	38.0	32.0	24.0	18.0
Insulation resistance		10MΩ or more							
Direct strength		AC 1500V 1 minute							
<p>■ Characteristic curve</p> <p>250mm dia straight pipe length</p> <p>Static pressure (Pa)</p> <p>Exchange efficiency (%)</p> <p>Air volume (m<sup>3</sup>/h)</p> <p>Air volume (L/s)</p> <p>Temperature</p> <p>Enthalpy heating</p> <p>Enthalpy cooling</p> <p>SP4</p> <p>SP3</p> <p>SP2</p> <p>SP1</p> <p>100m</p> <p>80m</p> <p>60m</p> <p>40m</p>									
<p>■ Attention</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>The running current, the input power, the efficiency and the noise are based on the rating air volume, and 230V/50Hz. The noise is measured at 1.5m under the center of the unit in an anechoic chamber.</li> <li>Temperature exchange efficiency (%) is based on winter condition.</li> <li>Heat recovery ventilation mode starts automatically while detecting OA temperature lower than 8°C, even Bypass mode is selected. Remote controller continues to display "Bypass ventilation" in this case.</li> <li>Mitsubishi Electric measures figures in the chart according to Japan Industrial Standard (JIS B 8628), therefore the characteristic curves are measured by chamber method.</li> <li>The noise level at 1.5m away from outlets in the 45° direction is about 21dB greater than the indicated value at fanspeed4.</li> <li>On-site measurements by pitot tube method could be as much 20% difference from JIS test room conditions. If the measuring point is close to sources of turbulence like bends, contractions and dampers etc., it is difficult to measure air volume correctly. A straight duct length more than 10D (D=duct diameter) from the source of turbulence is recommended for correct measurement. On-site measurement should therefore be measured in accordance with BSRIA guideline (Commissioning Air Systems. Application procedures for buildings AG3/89.3(2001)).</li> <li>Use this unit between static pressure 60Pa and 240Pa at Fan speed4. Otherwise the motor protection may work and reduce its output or the noise level might be larger.</li> </ol> <p style="text-align: right;">※Specification may be subject to change without notice.</p>									
SPECIFICATIONS		DATE	TYPE	CEILING RECESSED LOSSNAY					
		22-Sep-2014	MODEL	LGH-100RVX-E					
MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION			NUMBER	N14HHGU0033A				1/5	

■ Outline drawings



■ Attention

1. When using the product where it is exposed to high temperatures and humidity (40°C or more, RH 80% or more), or where fog occurs frequently, moisture is likely to condense in the core, and may result in condensation build up in the unit. The product should not be used under such conditions.
2. Outdoor air may enter the Lossnay owing to the pressure difference between indoor and outdoor or external winds even when the product is not operated. It is recommended to install an electrically operated damper to block the outdoor air.
3. In a cold weather area, an area with strong external winds or where fog occurs frequently, cold outdoor air, external winds or fog may be introduced into the product when its operation is stopped. It is recommended to install an electrically operated damper.
4. In a cold weather area, or others, dewing or freezing could occur on the main unit, where the duct is connected, or other sections, depending on the conditions of outdoor air and indoor temperature and moisture, even if they are within the range of operating conditions. Make sure to check the operating conditions and other precautions, and do not use the product if dewing or freezing is anticipated.
5. The outside ducts must be tilted at a gradient (1/30 or more) down toward the outdoor louvers from the Lossnay, and properly insulated. (The entry of rain water may cause power leakage, fire, or damage to household property.)
6. The two outdoor ducts must be covered with heat-insulating material in order to prevent condensation from forming. If it is expected that the ambient temperature around the place where the Lossnay unit is installed will be high during the summer air conditioning season, it is recommended that the indoor ductwork should be covered with insulation material.
7. Inspection opening (450 × 450mm or more) must be installed on the filter and Lossnay core removal side.
8. Before starting installation, be sure to fix ceiling suspension fixture with the attached screws according to the installation manual.

※Specification may be subject to change without notice.

OUTLINE DRAWINGS	DATE	TYPE MODEL	CEILING RECESSED LOSSNAY	
	22-Sep-2014		LGH-100RVX-E	
MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION		NUMBER	N14HHGU0033A	2/5