



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

VZDUCHOTECHNIKA V MULTIFUNKČNÍM CENTRU

AIR CONDITIONING IN MULTIFUNCTIONAL CENTER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Leona Svobodová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608R001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Leona Svobodová
Název	Vzduchotechnika v multifunkčním centru
Vedoucí práce	doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Stavební dokumentace zadané budovy

České i zahraniční právní předpisy a technické normy

Odborná literatura

Zdroje na internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

A. Teoretická část – literární rešerše ze zadaného tématu, rozsah 12 až 20 stran

B. Výpočtová část

analýza objektu – rozdělení zadané dispozice na funkční celky, koncepce řešení tepelné bilance,

průtoky vzduchu, tlakové poměry

distribuce vzduchu,

dimenzování potrubí a tlaková ztráta,

úpravy vzduchu návrh VZT jednotek (hx diagramy),

útlum hluku

izolace VZT potrubí

C. Projekt – úroveň prováděcího projektu: výkresy dvoučarově, půdorysy + řezy (řešené místnosti, strojovna) legenda prvků, 1:50 (1:100) – budou uloženy samostatně jako přílohy, technická zpráva (tabulka místností, tabulka zařízení), položková specifikace, funkční (regulační) schéma, Počet VZT zařízení a rozsah projektu určí vedoucí práce

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je návrh vzduchotechnického zařízení v multifunkčním centru. Zařízení obsluhují multifunkční sál a místnost režie, osvětlení a zvuku. Zařízení jsou navržena tak, aby splňovala veškeré hygienické, provozní a funkční požadavky a vytvářela optimální vnitřní mikroklimatické podmínky pro pobyt osob. K návrhu byly použity dostupné výpočty, platné předpisy a normy. Vzduchotechnika zajišťuje přívod čerstvého a odvod znehodnoceného vzduchu, pokrytí tepelných ztrát, odvedení tepelné zátěže a zvlhčování vzduchu. Teoretická část se zabývá systémem zpětného získávání tepla a popisuje výhody a nevýhody každého zařízení umožňujícího zpětné získávání tepla.

PREFACE

The object of this bachelor thesis is the design of air-conditioning equipment in a multifunctional centre. The devices serve a multifunctional hall and a room with over-head, the lighting and the sound. The units are designed in a way to meet all the hygienical, operational and functional requirements and to create optimal indoor microclimatic conditions for people to stay. There were used all the available budget calculations, applicable regulations and standards for this design. The air-conditioning provides a supply of fresh air and conducting of depreciated air, coverage of heat losses, removal of heat load and humidification of air. The theoretical part deals with the system of return gaining of heat and describes advantages and disadvantages of every device enabling.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vzduchotechnika, zpětné získávání tepla, tepelná zátěž, tepelné ztráty, vlhčení, multifunkční sál, teplovzdušné vytápění, teplovzdušné větrání

KEY WORDS

Air conditioning, heat recovery, heat load, heat loss, humidification, multifunctional hall, hot air heating system, hot air ventilation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Leona Svobodová *Vzduchotechnika v multifunkčním centru*. Brno, 2020. 76 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Vzduchotechnika v multifunkčním centru* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 22. 5. 2020

Leona Svobodová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Vzduchotechnika v multifunkčním centru* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 5. 2020

Leona Svobodová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Především bych chtěla poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce, panu doc. Ing. Aleši Rubinovi, Ph.D. za odborné vedení práce, ochotu, trpělivost a cenné rady při vypracovávání této práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině, kamarádům a partnerovi za podporu.

OBSAH

ÚVOD	12
1 ÚVOD.....	14
2 ZPĚTNÉ ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA.....	14
2.1 TEPELNÝ TOK	15
2.2 HODNOCENÍ SYSTÉMŮ ZZT	15
2.2.1 ÚČINNOST ZZT	16
2.2.2 TERMICKÁ ÚČINNOST	16
2.2.3 VLHKOSTNÍ ÚČINNOST	16
2.3 ROZDĚLENÍ SYSTÉMŮ ZZT.....	17
2.3.1 REKUPERAČNÍ VÝMĚNÍKY	17
2.3.1.1 DESKOVÉ VÝMĚNÍKY	17
2.3.1.2 TRUBKOVÉ VÝMĚNÍKY.....	18
2.3.1.3 TEPELNÉ TRUBICE	18
2.3.1.4 ZAŘÍZENÍ S KAPALINOVÝM OKRUHEM	20
2.3.2 REGENERAČNÍ VÝMĚNÍKY	21
2.3.2.1 ENTALPICKÝ VÝMĚNÍK	22
2.3.2.2 ROTAČNÍ VÝMĚNÍKY	23
2.3.2.3 PŘEPÍNAČÍ VÝMĚNÍKY	25
2.3.2.4 TEPELNÁ ČERPADLA.....	25
3 OBECNÉ VLASTNOSTI SYSTÉMŮ ZZT	26
3.1 ÚČINNOST ZAŘÍZENÍ PŘES 100%.....	26
3.2 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ ZZT.....	27
3.3 NAMRZÁNÍ VÝMĚNÍKŮ	27
3.4 TĚSNOST VÝMĚNÍKŮ	27
4 ZÁVĚR	27
1 ANALÝZA OBJEKTU	30
1.1 KLIMATICKÉ ÚDAJE STAVBY	30
1.2 POŽADAVKY NA VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ	31
2 VÝPOČET SOUČINITELŮ PROSTUPU TEPLA.....	31
3 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT	34
4 LEGENDA MÍSTNOSTNÍ.....	36

5 VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE	36
5.1 MULTIFUNKČNÍ SÁL	36
5.1.1 TEPELNÁ ZÁTĚŽ V LETNÍM OBDOBÍ.....	37
5.1.2 TEPELNÁ ZÁTĚŽ V ZIMNÍM OBDOBÍ	38
5.2 MÍSTNOST REŽIE, OSVĚTLENÍ A ZVUKU	39
5.2.1 TEPELNÁ ZÁTĚŽ V LETNÍM OBDOBÍ	39
5.2.2 TEPELNÁ ZÁTĚŽ V ZIMNÍM OBDOBÍ.....	40
6 STANOVENÍ PRŮTOKŮ VZDUCHU.....	41
6.1 ZAŘÍZENÍ Č.1.....	41
6.2 ZAŘÍZENÍ Č.2.....	42
7 ROZDĚLENÍ ZAŘÍZENÍ NA TLAKOVÉ POMĚRY.....	42
8 DISTRIBUČNÍ ELEMENTY	43
8.1 VÍŘIVÝ ANEMOSTAT	43
8.2 STROPNÍ ANEMOSTAT	44
9 DIMENZOVÁNÍ POTRUBÍ.....	45
10 NÁVRH VZDUCHOTECHNICKÝCH JEDNOTEK.....	47
10.1 ZAŘÍZENÍ Č. 1	47
10.2 ZAŘÍZENÍ Č. 2.....	50
11 ÚTLUM HLUKU	52
11.1 VÝPOČET HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU VE VOLNÉM PROSTORU.....	54
12 IZOLACE POTRUBÍ.....	55
1 TECHNICKÁ ZPRÁVA	58
1 TECHNICKÁ ZPRÁVA.....	59
1.1 ÚVOD	59
1.2 PODKLADY PRO ZPRACOVÁNÍ	59
1.3 VÝPOČTOVÉ HODNOTY KLIMATICKÝCH POMĚŘŮ.....	60
1.4 VÝPOČTOVÉ HODNOTY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ.....	60
2 ZÁKLADNÍ KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ.....	60
2.1 HYGIENICKÉ VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE.....	61
2.2 ENERGETICKÉ ZDROJE	61
2.2.1 ELEKTRICKÁ ENERGIE	61
2.2.2 TEPELNÁ ENERGIE	61

3	POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ.....	61
3.1	ZAŘÍZENÍ Č. 1 - TEPLOVZDUŠNÉ VYTÁPĚNÍ MULTIFUNKČNÍHO SÁLU	61
3.2	ZAŘÍZENÍ Č. 2 – TEPLOVZDUŠNÉ VĚTRÁNÍ MÍSTNOSTI REŽIE	62
3.3	NÁROKY NA ENERGII	63
4	MĚŘENÍ A REGULACE, PROTIMRAZOVÁ OCHRANA	64
5	NÁROKY NA SOUVISEJÍCÍ PROFESE	64
5.1	STAVEBNÍ ÚPRAVY	64
5.2	SILNOPROUD	64
5.3	ZTI	65
5.4	ÚT	65
6	PROTIHLUKOVÁ A PROTIOTŘESOVÁ OPATŘENÍ	65
7	IZOLACE A NÁTĚRY	65
8	PROTIPOŽÁRNÍ OPATŘENÍ	66
9	MONTÁŽ, PROVOZ, ÚDRŽBA A OBSLUHA ZAŘÍZENÍ.....	66
10	ZÁVĚR	66
2	PŘÍLOHY TECHNICKÉ ZPRÁVY.....	67
2.1	FUNKČNÍ SCHÉMATA	68
2.2	SPECIFIKACE PRVKŮ	70
4	POUŽITÉ ZDROJE	72
5	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	74
6	SEZNAM TABULEK.....	75
7	SEZNAM POUŽITÝCH PROGRAMŮ	75
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	75

ÚVOD

Předmětem této bakalářské práce je návrh vzduchotechnického zařízení v multifunkčním centru. Jedná se o část budovy s multifunkčním sálem, který může být využíván jako kinosál či jako sál divadelní. Řešena je také místnost režie, osvětlení a zvuku. Vzhledem k charakteru prostoru jsou tyto místnosti bez oken, proto byl nezbytný návrh nuceného větrání. Vzduchotechnický systém jsem navrhovala tak, aby v těchto velmi koncentrovaných prostorách zajistil návštěvníkům tepelnou pohodu, neustálý přísun čerstvého vzduchu a dostatečnou ochranu proti hluku vzniklého nejen vzduchotechnickým zařízením.

Samostatná práce se dělí na tři části – teoretickou, výpočtovou a projektovou.

Teoretická část popisuje systém zpětného získávání tepla, který je v dnešní době neodmyslitelnou součástí vzduchotechnických jednotek. V této části je vysvětlen samotný pojem zpětného získávání tepla, varianty jeho zařízení a jejich výhody a nevýhody.

Výpočtová část zahrnuje veškeré výpočty a posouzení k návrhu kompletního vzduchotechnického zařízení. Prostory byly rozděleny do dvou funkčních celků. Zařízení č. 1 obsluhuje multifunkční sál a jeviště a je řešeno dvoučarově. Zařízení č. 2 obsluhuje místnost režie a je řešeno jednočarově.

Projektovou část tvoří podrobné výkresy půdorysů a řezů a technická zpráva s přílohami.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

ČÁST A – TEORETICKÁ ČÁST

ZPĚTNÉ ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Leona Svobodová

VEDOUCÍ PRÁCE

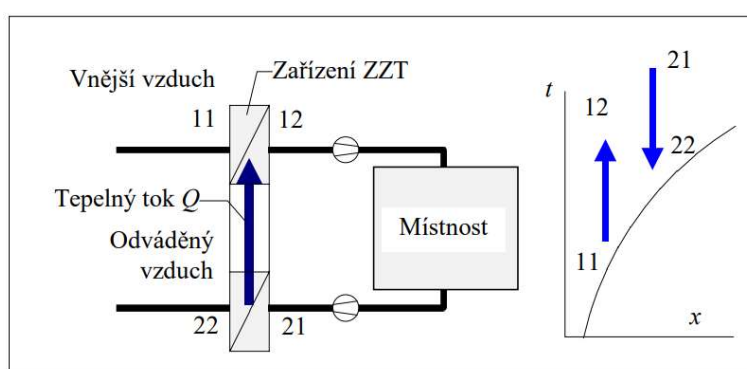
SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2020

1 ÚVOD

Zpětné získávání tepla je proces, se kterým se můžeme setkat v několika technických odvětvích. Využití má v průmyslu, výrobě i službách. Klíčové užití má v systémech odpadních vod a v systémech vzduchotechniky. Jedná se o děj, při kterém se využívá teplo ze znehodnocených, odpadních látek a dochází k tepelné výměně mezi látkou přívodní a odvodní. Odvodní látka, tedy např. teplý, znehodnocený vzduch z místnosti předá přes teplosměnnou plochu část tepla čerstvému, studenému, přívodnímu vzduchu a tím ho částečně předeheje. Může se jednat i o opačný proces, tedy o chlazení přívodního vzduchu. Tímto procesem se ušetří značné množství energie.



Obr. 1 Princip zpětného získávání tepla

2 ZPĚTNÉ ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA

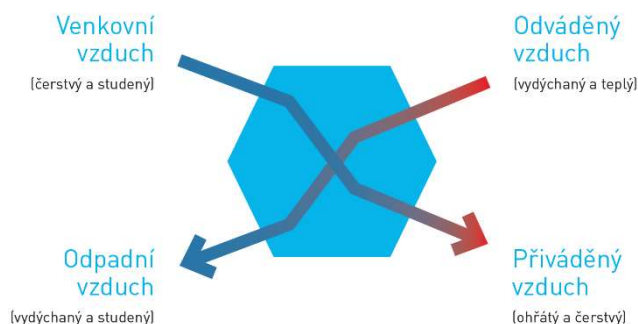
Minimalizování energetické náročnosti budov vede také k využívání ZZT ve vzduchotechnice. Dle hygienických předpisů je v interiéru nutná výměna znečištěného vzduchu vzduchem čerstvým, přičemž jeho průtok je většinou roven průtoku odváděného vzduchu. Recyklace části odváděného tepla pomáhá snižovat emise topných zdrojů a také snižuje provozní výdaje na vytápění. Významem ZZT je tedy snížení potřeby tepelné energie pro ohřev vzduchu. Čerstvý, přiváděný vzduch se předeheje nebo ochladí pomocí zpětného získávání tepla a poté se dohřeje či ochladí na požadovanou teplotu. Úspora energie nastává především v zimě, kdy je velký rozdíl teplot mezi interiérem a exteriérem. V létě je menší rozdíl teplot, nízký součinitel přestupu tepla ze vzduchu do stěn zařízení, nízké rychlosti vzduchu a vyšší tlakové ztráty, což vede k zatěžování ventilátorů. Z tohoto důvodu se v létě používá obtok neboli bypass výměníku.

Dle Nařízení Komise 2016/2281 o stanovení rámce pro určení požadavků na ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie bylo dáno, že ohřívače vzduchu,

chladicí zařízení, vysokoteplotní procesní chladiče a ventilátorové konvektory se budou týkat požadavků na ekodesign. Ekodesign je soubor především energetických účinností, kterými se musí řídit každý výrobce nebo dovozce výrobku spojeného se spotřebou energie při jeho uvedení na trh EU. Od roku 2016 musí mít většina obousměrných větracích jednotek zařízení, které umožňují tepelný obtok a musí být opatřeny systémem ZZT. Nařízení komise říká, že od 1.1.2018 musí tepelná účinnost systémů ZZT u bezoběhových systémů (rekuperace, regenerace) dosahovat minimálně 68 % a u oběhových systémů ZZT (kapalinové okruhy) 73 %.

2.1 TEPELNÝ TOK

Přenos tepelného toku z odvodního vzduchu na vzduch přívodní je ovlivněn parametry výměníku a parametry provozu. Parametry výměníku závisí na tvaru, velikosti a materiálu teplosměnné plochy, na rovnoměrnosti vystavení teplosměnné plochy proudem vzduchu a na technické kvalitě výměníku, tedy těsnosti a mechanické odolnosti. Přenos tepelného toku ovlivňuje i součinitel přestupu tepla přes teplosměnnou plochu. Parametry provozu ovlivňují rozdíly teplot a hmotnostních průtoků přívodního a odvodního vzduchu, tlakové rozdíly mezi proudy vzduchu, nečistoty ve vzduchu a samotná údržba zařízení, především pravidelné čištění teplosměnných ploch a výměna filtrů.



Obr. 2 Přenos tepelného toku

2.2 HODNOCENÍ SYSTÉMŮ ZZT

Systémy zpětného získávání tepla mají často uvedenou hodnotu jejich účinnosti, která je daná výrobcem. Jedná se o tzv. tepelnou nebo termickou účinnost, která je vztažena k vnějšímu vzduchu. Tato hodnota uváděná výrobcem může teoreticky nabývat až 100 % účinnosti. V praxi se většinou pohybuje okolo 50-90 %. Tato účinnost není stálá a závisí na skutečných podmínkách. Výrobci uvádějí maximální účinnost, ovšem ta bývá dosažena pouze krátkodobě a při daných podmínkách. Systémy s účinností menší než 50 % jsou finančně nevýhodné, protože investice do zařízení jsou několikrát větší než úspory.

Účinnost přenosu rozdělujeme na entalpickou, termickou a vlhkostní. Termická účinnost je dána poměrem rozdílu teplot přiváděného vzduchu a rozdílu teplot odváděného vzduchu. Obdobně lze určit účinnost entalpickou i vlhkostí.

2.2.1 ÚČINNOST ZZT

Účinnost zařízení ZZT je ovlivněna dimenzováním a provozem. Klíčovým parametrem je teplosměnná plocha, tedy velikost výměníku vzhledem k průtoku vzduchu. Účinnost narůstá a zároveň klesají tlakové ztráty, pokud je při malém průtoku navrhnut velký výměník a naopak. Velký vliv na účinnost má i kondenzace vlhkosti z odváděného vzduchu. Pokud má odváděný vzduch vyšší vlhkost, je vyšší hodnota rosného bodu a tím roste i riziko kondenzace. Při kondenzaci se zvyšuje hodnota součinitele přestupu tepla na stěně výměníku a roste tak teplotní účinnost systému ZZT.

2.2.2 TERMICKÁ ÚČINNOST

Pro zařízení se zpětným získáváním tepla.

$$\varphi = \frac{t_{e2} - t_{e1}}{t_{i1} - t_{e1}} = \frac{\Delta t}{\Delta t'}$$

Kde:

t_{e1} teplota přiváděného vzduchu před výměníkem

t_{e2} teplota přiváděného vzduchu za výměníkem

t_{i1} teplota odváděného vzduchu před výměníkem

t_{i2} teplota přiváděného vzduchu za výměníkem

2.2.3 VLHKOSTNÍ ÚČINNOST

Pro zařízení se zpětným získáváním vlhkosti.

$$\psi = \frac{x_{e2} - x_{e1}}{x_{i1} - x_{e1}} = \frac{\Delta x}{\Delta x'}$$

Kde:

h_{e1}	entalpie přiváděného vzduchu před výměníkem
h_{e2}	entalpie přiváděného vzduchu za výměníkem
h_{i1}	entalpie odváděného vzduchu před výměníkem
h_{i2}	entalpie odváděného vzduchu za výměníkem
V_i	objem přiváděného vzduchu
V_e	objem odváděného vzduchu
x_{e1}	měrná vlhkost přiváděného vzduchu před výměníkem
x_{i1}	měrná vlhkost odváděného vzduchu před výměníkem

2.3 ROZDĚLENÍ SYSTÉMŮ ZZT

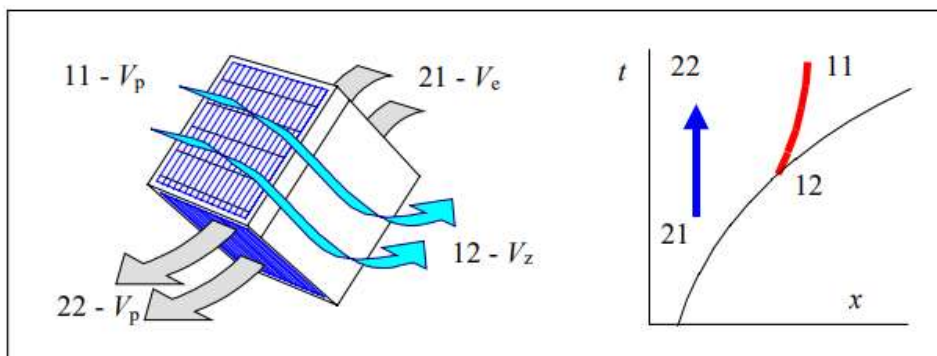
Zařízení ZZT lze rozdělit dle fyzikálních vlastností na regenerační a rekuperační výměníky a výměníky s pomocnou tekutinou. Zařízení ZZT jsou dnes zpravidla součástí vzduchotechnických jednotek.

2.3.1 REKUPERAČNÍ VÝMĚNÍKY

Rekuperační výměníky pracují na principu výměny tepelné energie mezi přiváděným a odpadním vzduchem přes pevnou stěnu. Systém je vhodný pro zpětné získávání tepla ze znečištěného odpadního vzduchu, protože nedochází k žádnému přenosu hmoty mezi přívodním a odvodním vzduchem (proudy jsou oddělené).

2.3.1.1 DESKOVÉ VÝMĚNÍKY

Zástupcem rekuperačních výměníků jsou deskové výměníky, které pracují ve skupině „vzduch – vzduch“. Jsou složeny z teplosměnných ploch (desek), mezi kterými střídavě proudí teplý a studený vzduch. Dochází v nich k přímé výměně tepla. Výměníky sdílí především citelné teplo, pouze v případě kondenzace vodní páry na straně ochlazeného vzduchu sdílí teplo latentní. Teplosměnné desky jsou uspořádány rovnoběžně. Co se týče materiálu, jedná se o umělohmotné fólie, pozinkovaný plech, nerezovou ocel či hliník.



Obr. 3 Deskový výměník a schéma tepelných výměn

Proud přívodního a odvodního vzduchu je oddělený. Proudění jsou uspořádány buď do kříže, tzv. křížoproudé anebo částečně až plně protiproudé. Při protiproudém uspořádání je větší střední logaritmický rozdíl teplot a tím při stejné teplosměnné ploše vzrůstá přenášený tepelný výkon. Účinnost výměníku závisí na tvaru a velikosti. Většinou se vyrábí čtyřhranné, které mají křížové uspořádání a šestihhranné, kdy je průtok vzduchu protiproudý. Teplotní účinnost čtyřhranných rekuperátorů dosahuje 50–75 %, šestihhranných 60–90 %. Zvýšené účinnosti můžeme dosáhnout sprchováním plochy. Výhodou deskových rekuperátorů je rovnoměrný přestup tepla, oddělené proudy vzduchu, jednoduchost konstrukce a žádný pohon. Nevýhodou je vyšší tlaková ztráta. Deskový rekuperátor se stal pro malé VZT jednotky nejpoužívanějším rekuperátorem současnosti.

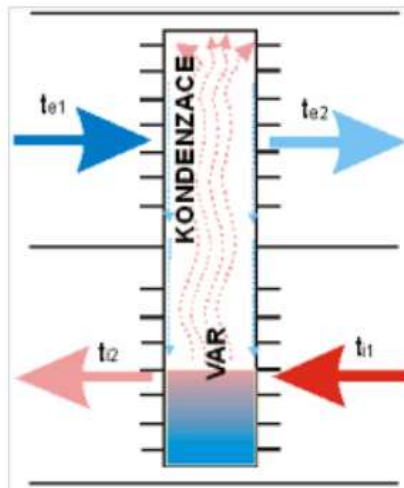
2.3.1.2 TRUBKOVÉ VÝMĚNÍKY

Trubkové výměníky fungují na podobném principu jako deskové výměníky. Jedná se také o skupinu „vzduch – vzduch“, ale liší se teplosměnnou plochou, kde místo desky je použita skupina trubek. Jimi proudí vzduch přívodní a kolem nich vzduch odvodní. Nedochozí k přímému styku těchto proudů vzduchu. Trubkové výměníky jsou pevnější a také čistitelnější, protože se nečistoty usazují na vnější straně trubek a pak se splachují nebo profukují vzduchem. Jejich nevýhodou je menší teplosměnná plocha, která ovlivňuje účinnost výměníku a ta dosahuje jen 20–50 %.

2.3.1.3 TEPELNÉ TRUBICE

Základem zařízení jsou uzavřené tepelné trubice umístěné do společného rámu, které společně tvoří výměník. V trubicích je chladivová náplň zprostředkávající přenos tepelného toku. Chladivem bývá obvykle čpavek nebo freon, ale může jim být i voda. Zařízení pracuje na principu opakovaní skupenských změn (vypařování a kondenzace). Znehodnocený, teplý, odvodní vzduch proudí kolem spodní části trubky, kterou ohřívá a uvnitř trubky dochází k varu. Chladivo se začíná vypařovat a proudí do horní části trubice. Horní část je z vnější strany ochlazována čerstvým, přívodním vzduchem a chladivo začíná kondenzovat a stékat po stěnách trubice dolů a celý proces se opakuje. Teplý vzduch kolem dolní části trubice se ochlazuje

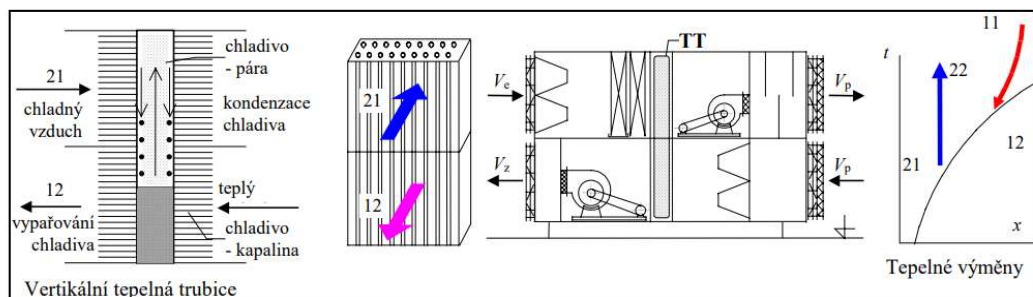
kondenzátem a chladný vzduch kolem horní části trubice se ohřívá párou. Chladivo proudí v trubicích dle polohy trubice vlivem gravitačních nebo kapilárních sil. Gravitační výměníky mají trubice ve vertikální poloze a kondenzát stéká po vnitřních stěnách trubic. Kapilární výměníky pracují v horizontální poloze (s mírným spádem) a kondenzát stéká po stěnách zpět pomocí kapilár vytvořených z drážek nebo nasákavých látek na vnitřním povrchu trubice, které dopraví kondenzát do protilehlé části trubice i přes účinek gravitačních sil. Zařízení dosahují účinnosti do 65 %.



Obr. 4 Schéma tepelné trubice

Trubice jsou obvykle hladké či žebrované a vyrábí se obvykle z mědi či hliníku. Výhodou trubic je, že pro pohyb chladiva není nutný žádný pohon, zařízení dosahují velké účinnosti při nízkých rychlostech vzduchu a mají malou tlakovou ztrátu. Nevýhodou je hmotnost a velikost zařízení a velké snížení účinnosti při zvyšujících se rychlostech vzduchu.

Voda se místo chladiva používá v případech, pokud je teplota odsávaného vzduchu vyšší než 100 °C. Je tomu z důvodu, že chladivo se vypařuje již při nižších teplotách, při kterých by voda byla stále v kapalném stavu.

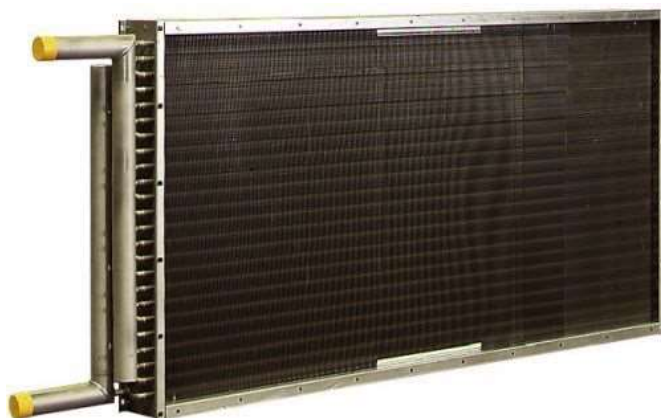


Obr. 5 Schéma vertikální tepelné trubice, osazení v jednotce a tepelné výměny

2.3.1.4 ZAŘÍZENÍ S KAPALINOVÝM OKRUHEM

Toto rekuperační zařízení je odlišné od ostatních tím, že je tvořeno dvěma výměníky, většinou lamelovými, které jsou propojeny přes kapalinový okruh. Teplo se přenáší v sestavě „vzduch-kapalina-vzduch“. Pracovní látkou je většinou nemrzoucí směs nebo voda. U tohoto zařízení je oddělen přívodní a odvodní vzduch. Výhodou zařízení je, že výměníky od sebe mohou být jakkoliv vzdálené. Ze znečištěného, odpadního vzduchu je teplo přeneseno přes výměník s žebrováním do teplonosné látky.

Teplonosná látka nuceně cirkuluje mezi oběma výměníky tzv. kapalinovým okruhem. Ten obsahuje čerpadlo, expanzní nádobu a regulační prvky. Kapalinový okruh přenáší tepelnou energii z jednoho výměníku do druhého. Druhý výměník je umístěn na přívodním vzduchu. Dojde ke druhé tepelné výměně, a to mezi kapalinou a přívodním vzduchem.

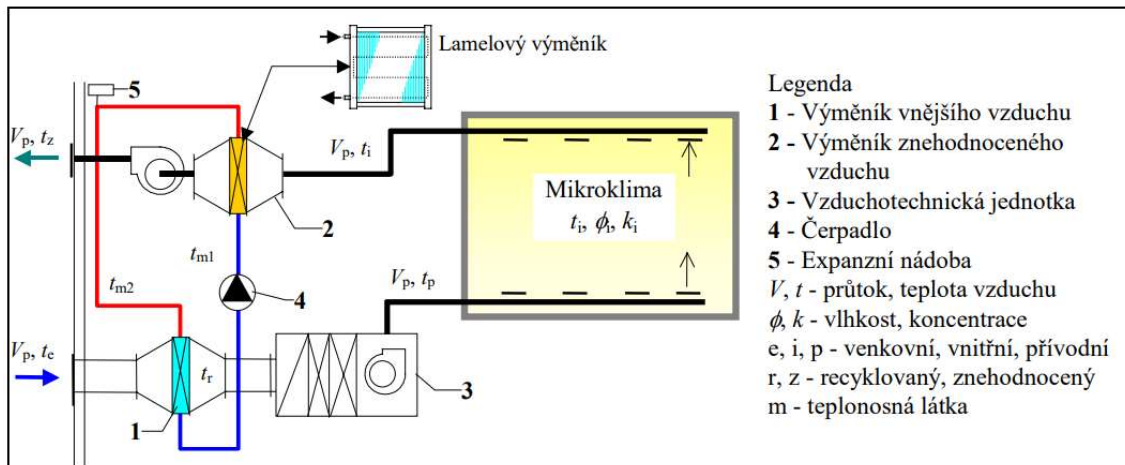


Obr. 6 Lamelový výměník

Účinnost systému závisí na počtu řad – u systémů s velkým počtem řad (max. 18) dosahuje 60-70 %. Obvykle se využívají systémy s 2 až 4 řadami lamel, které dosahují účinnosti 30-50 %.

Při protiproudém uspořádání 10 až 20 výměníků lze dosáhnout účinnosti až 90 %, ale zároveň dochází k velké tlakové ztrátě. Nevýhodou je nutnost energie pro pohon čerpadel na kapalinovém okruhu.

Využití zařízení s kapalinovým okruhem je především u rekonstrukcí VZT potrubí, kdy nelze pozměnit trasy potrubí a přiváděný a odváděný vzduch jsou daleko od sebe. Používá se i u historických budov, kde z hlediska památkářského není možné vézt VZT potrubí tak, jako u ostatních staveb.



Obr. 7 Schéma zařízení s kapalinovým okruhem a lamelovými výměníky

2.3.2 REGENERAČNÍ VÝMĚNÍKY

Regenerační systém zpětného získávání tepla využívá k přenosu tepla, popř. i vlhkosti akumulační hmotu opakovaně ochlazovanou studeným a ohřívanou teplým proudem vzduchu. Teplosměnná plocha je tedy opakovaně ohřívána a ochlazována. Teplý vzduch dodává hmotě energii, kterou jí chladný vzduch zase odebírá. Jedná se o přenos celkového tepla, tedy citelného i vázaného, díky kterému dosahuje zařízení maximální účinnosti. Zpětné získávání citelného tepla značíme ZZCT, vázaného tepla (popř. vlhkosti) značíme ZZVT a přenos celkového tepla označujeme jako ZZT. V ideálním případě by měla být účinnost ZZCT a ZZVT stejná.

Přenosy tepla a vlhkostí jsou vyjádřeny následujícími vztahy:

Zima:

$$\text{Citelné teplo: } Q = V \cdot c \cdot \rho \cdot (t_i - t_e) \cdot \eta$$

$$\text{Celkové teplo: } Q = V \cdot c \cdot \rho \cdot (h_i - h_e) \cdot \eta$$

kde η účinnost ZZT zimní

Léto:

$$\text{Citelné teplo: } Q = V \cdot c \cdot \rho \cdot (t_e - t_i) \cdot \eta$$

$$\text{Celkové teplo: } Q = V \cdot c \cdot \rho \cdot (h_e - h_i) \cdot \eta$$

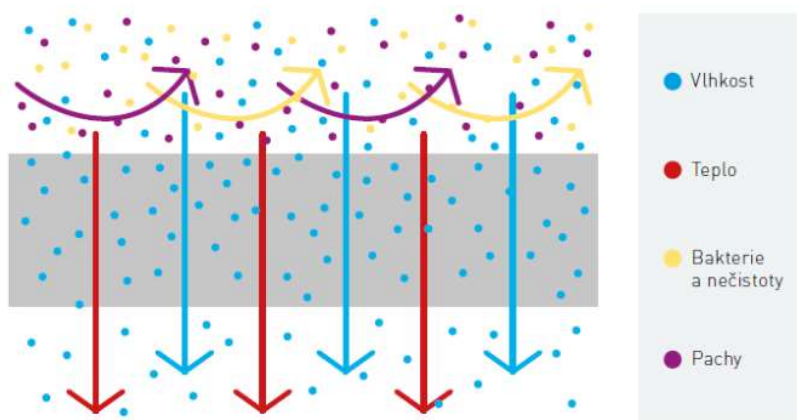
kde η účinnost ZZT letní

Regenerační výměníky lze považovat za entalpické, což zjednodušeně znamená, že poskytují zpětné získávání tepla i vlhkosti. Využití mají v zimě, kdy se zvyšuje teplota i vlhkost přívodního vzduchu. Také v létě napomáhá příjemnému mikroklima budov v horkých letních měsících, kdy zabraňuje, aby byl přívodní vzduch příliš teplý a vlhký. Pokud bychom srovnali výměník tepla bez kondenzace, tepelná účinnost by dosahovala 89 %, s kondenzací 70 %. U entalpických výměníků dosahuje tepelná účinnost 88 % a vlhkosť 65 %.

2.3.2.1 ENTALPICKÝ VÝMĚNÍK

Na rozdíl od běžných systémů ZTZ získává entalpický výměník zpět nejen teplo, ale také vzdušnou vlhkost. Jedná se o deskový výměník, který pracuje bez dodávání elektrické energie. Výměníky jsou vyráběny z pórovitých materiálů, přes které prostupuje jak teplo, tak vodní pára. Materiálem je speciální nasávkavý papír či speciální polymerová membrána. Tyto materiály zachycují nežádoucí látky (prach, plíseň, a nečistoty). Membrána umožňuje přenos pouze molekulám vody. Výměníky jsou stejně jako u deskových rekuperačních výměníků buď křížové čtvercové nebo protiproudé šestihenné. Výhodou je, že mohou entalpické výměníky fungovat až do $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, ale pokud teplota klesne pod $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, může se výměník znehodnotit. Řešením je výměník používat zároveň s elektrickým předehříváčem, se kterým ho lze užívat až při $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Řešení je méně ekonomické, protože je potřeba elektrické energie pro pohon předehříváče.

Výměníky je vhodné použít ve vzduchotechnických jednotkách, které obsluhují například kuchyně, sprchy nebo jiné místnosti s vnitřními zdroji vlhkosti.



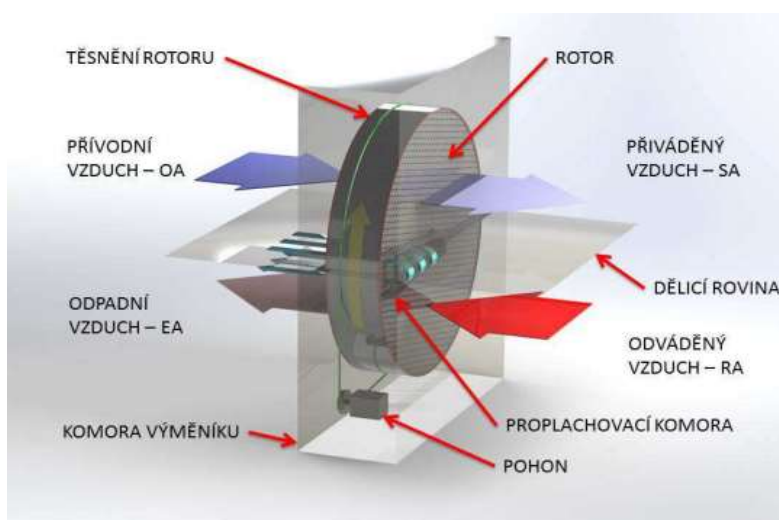
Obr. 8 Princip entalpického výměníku



Obr. 9 Čištění entalpického výměníku

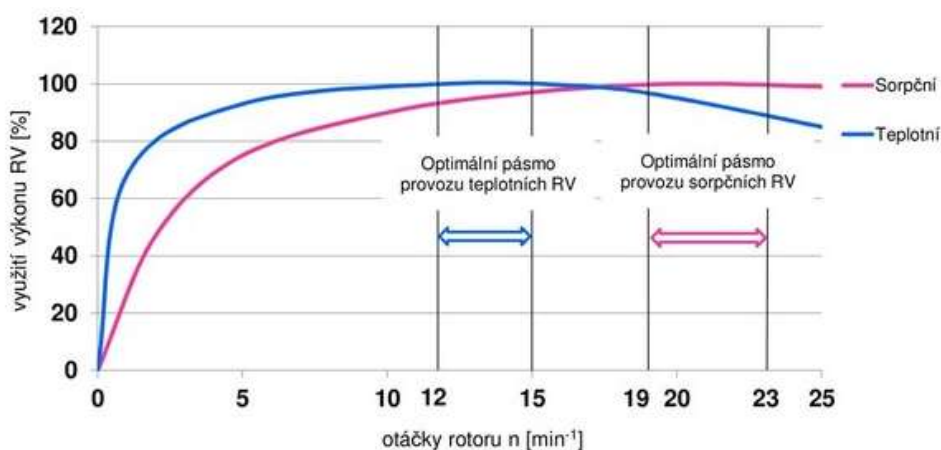
2.3.2.2 ROTAČNÍ VÝMĚNÍKY

U těchto výměníků dochází k přenosu tepla pomocí akumulční hmoty, která periodicky mění polohu, ale proud vzduchu zůstává stejný. Akumulční hmotou je např. hliníkový plech jakožto rotor v kovovém rámu. Plech je ve tvaru válce s průtočnými kanálky. Polovina rotoru leží v proudu čerstvého, studeného vzduchu a druhá polovina v proudu znehodnoceného, teplého vzduchu. Otáčením rotoru dochází k předávání tepla. Rotor je postaven kolmo k proudu vzduchu a otáčí se buď ustavičně nebo vždy o 180°. Může dojít i k předání vlhkosti, pokud bude akumulční hmota (plech) potažena např. silikagelem, čímž se stane povrch hygroskopickým. Akumulční hmota může být z hliníku, slitiny, plastu či ze speciálního materiálu na bázi celulózy.



Obr. 10 Princip rotačního výměníku

Materiál akumulční hmoty je ovlivněn podmínkami užívání. Pokud chceme přenášet citelné teplo, je vhodné použít hliník, papír, plast či měď. Při vysokých teplotách ve výměníku se používá nerezová ocel a keramika. Jestliže chceme přenášet celkové teplo, tak je výhodné, aby byla teplosměnná plocha z absorbérů vodní páry, zeolitu (hlinitokřemičitý minerál), syntetických polymerů anebo aktivovaného oxidu hlinitého (nerost korund). Rotor je většinou vyroben z pásu šířky 100–300 mm navinutého do válce. Rotační regenerátory dosahují účinnosti 70-85 %, podle otáček rotoru a rychlosti proudícího vzduchu. Výhodou zařízení je vysoká účinnost, použití k chlazení i ohřevu vzduchu, malý rozměr vzhledem k výkonu, malé provozní náklady a snadná regulace rychlosti kola. Mezi nevýhody patří netěsnost mezi pláštěm a rotorem, nutnost elektrické energie pro pohon a možnost zanášení rotoru. Tlakové ztráty rotačních výměníků dosahují 140-200 Pa.



Obr. 11 Graf závislosti tepelné účinnosti na otáčkách rotoru RV

Pozn.:

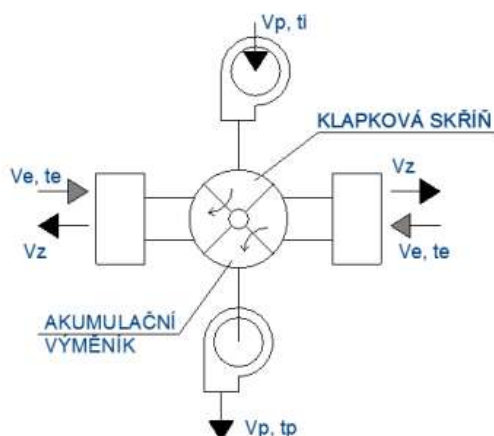
sorpční RV – nedochází ke kondenzaci vodní páry, jsou opatřené silikagely, velká jímavost vodní páry

teplotní RV – dochází ke kondenzaci vodní páry, přenáší citelné teplo, přenos vlhkosti je malý

Rotační regenerátor se ve středoevropských podmínkách většinou neseťkává s namrznáním. K namrznutí by mohlo dojít při teplotách $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nižších, což by způsobilo nižší účinnost nebo i trvalé poškození. U teplotních a entalpických regenerátorů, kde dochází ke kondenzaci vodní páry, může docházet k namrznání rotoru. V extrémních podmínkách se přistupuje k protimrazovým opatřením-při neobvykle nízkých teplotách se přívodní vzduch předeřhřívá, ke snížení výkonu rotoru použijeme obtok a snížíme účinnost redukcí otáček pod 1 otáčku/min.

2.3.2.3 PŘEPÍNAČÍ VÝMĚNÍKY

Na rozdíl od rotačních výměníků u těchto zařízení nedochází ke změně pozice akumulační hmoty, ale mění se směr proudu vzduchu. Proudění vzduchu se přepínají, proto se jedná o přepínací výměníky. Intervalů mezi přepnutími mohou být několik sekund až desítek minut. Výměníky mají složitou konstrukci – jsou sestaveny ze dvou komor naplněných akumulační hmotou, kterými střídavě proudí přírodní a odvodní vzduch. Akumulační hmotou v komorách mohou být oblázky (15 mm), střední kamenivo (50 mm) nebo kamenivo frakce až 120 mm. Při větší zrnitosti vzrůstá tepelná účinnost, ale klesá účinnost přenosu vlhkosti. Principiálně funguje výměník tak, že při dosažení požadované teploty automaticky ovládaná přepínací klapka přepne proudění a teplý, odvodní vzduch je v tom místě vyměněn vzduchem přírodním a naopak. Tepelná účinnost dosahuje 60-90 %, vlhkostní pak 50-70 %. Výhodou přepínacích výměníků je snadná čistitelnost teplosměnné plochy, možnost jejich regulace přepínáním, využití pro přenos citelného i latentního tepla. Nevýhodou je velký rozměr výměníku, složitost konstrukce a obtížný návrh. Výměník není vhodný do znečištěných prostor, protože přírodní a odvodní proudy vzduchu nejsou od sebe odděleny.



Obr. 12 Schéma přepínacího výměníku

2.3.2.4 TEPELNÁ ČERPADLA

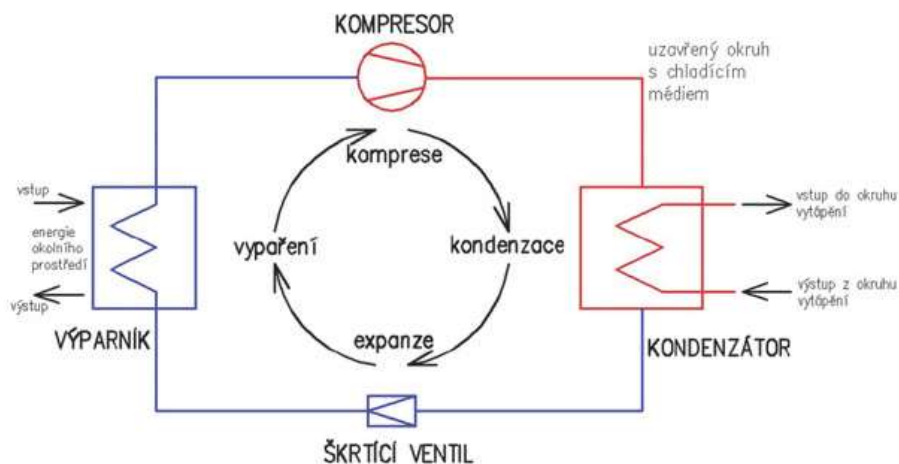
Tepelná čerpadla jsou finančně nejnáročnějšími zařízeními ZTZ. K přenosu tepla využívají skupenských změn chladiva s nuceným prouděním v oběhovém okruhu. Ten se skládá z výparníku, kompresoru, kondenzátoru a expanzního ventilu.

Kompresor stlačuje páry chladiva z výparníku na tlak adekvátní kondenzační teplotě. Teplota i tlak chladiva se při dodání práce kompresoru zvyšují. energii je tak možno využít pro vytápění. V TČ jsou nejvíce využívány rotační kompresory.

V *kondenzátoru* je teplo chladivu ve stavu páry odebráno a předáno do okolí, čímž dojde k ochlazení a ke kondenzaci. Tepelná energie je využita na ohřev vzduchu. Tato kapalina dále putuje do expanzního ventilu.

Expanzní ventil je v okruhu z důvodu zachování tlakového rozdílu mezi vysokým a nízkým tlakem v protilehlých částech okruhu. Říká se mu také škrťací ventil, protože usměrňuje tok chladiva do výparníku. Díky expanznímu ventilu je zaručeno, že bude chladivo vnikat do kompresoru ve formě páry.

Výparník odebírá tepelnou energii z nízkoteplotního okolí a pomocí energie se vlivem zvýšení teploty chladivo vypaří. Za podmínek nízkého tlaku se chladivo vypařuje i při nízkých teplotách. Výparník je složen ze dvou částí. Jednou stranou proudí chladivo a druhou vzduch. Chladivo se vypaří a proudí do kompresoru. Tento děj se neustále cyklicky opakuje.



Obr. 13 Princip fungování tepelného čerpadla

Tepelná čerpadla se nehodnotí účinností, ale topným faktorem (COP). Topný faktor je dán poměrem získaného tepla a tepla, které potřebujeme pro pohon. COP tedy udává, kolikrát více energie získáme než přivedeme. Systém s tepelným čerpadlem je výhodný a má význam, pokud dosahuje $COP = 3$.

3 OBECNÉ VLASTNOSTI SYSTÉMŮ ZTZ

3.1 ÚČINNOST ZAŘÍZENÍ PŘES 100%

Tepelnou účinnost vyjadřujeme rozdílem teplot vzduchu před a za zařízením ZTZ. Účinnost může nabývat hodnot od 0 do 100 %. Stoprocentní účinnost může být

překročena u aktivních systémů, kde je tepelná energie přiváděna z externího zdroje. Typickým příkladem jsou tepelná čerpadla. U nich se ale místo účinnosti používá již zmíněný topný faktor.

3.2 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ ZZT

Návratnost zařízení zpětného získávání tepla je jedním z hlavních kritérií při jeho pořizování. Důležité je srovnání roční úspory energie na vytápění, vlhčení nebo chlazení s energií, kterou spotřebovalo zařízení ZZT na svůj vlastní provoz. Pokud je úspora energie větší než náklady na provoz zařízení, potom je výhodné zařízení využívat. Většinou se systémy ZZT vyplatí, pokud mají zařízení delší provozní dobu. Zařízení s krátkodobým nebo občasným provozem se většinou nevyplatí, ale mohou se instalovat z důvodu nedostatku energetických zdrojů.

3.3 NAMRZÁNÍ VÝMĚNÍKŮ

V zimním období, kdy jsou nízké teploty a vlhký vzduch, dochází k namrznání výměníků. U regeneračních výměníků je namrznání minimální, protože se opakuje přestup tepla v určitých intervalech. U rekuperačních výměníků je namrznání velmi negativním jevem, který může poškodit chod zařízení nebo jej dokonce znehodnotit. Řešením je zařízení cyklicky rozmrazovat, a to změnou průtoku vzduchu, ohříváním vzduchu nebo jeho cirkulací. Druhým způsobem zajistit stálé rozmrznání – obtokem, předeříváním nebo umístěním ohříváče (např. topných kabelů).

3.4 TĚSNOST VÝMĚNÍKŮ

Těsnost výměníků závisí na kvalitě konstrukce. U rekuperačních výměníků, kde je proud přívodního a odvodního vzduchu oddělen pevnou plochou, je těsnost velice dobrá. Kapalinové okruhy, které mají přívodní a odvodní vzduch jakkoliv vzdálen, tento problém také nemají. S netěsnostmi se setkáváme u ostatních výměníků, kde se mísí přívodní a odvodní vzduch. Pokud by byl odvodní vzduch znečištěn látkami ohrožujícími zdraví člověka, je vhodné zařízení navrhnout tak, aby byl v části přívodního vzduchu přetlak a v části odvodního vzduchu podtlak.

4 ZÁVĚR

Systémy zpětného získávání tepla jsou dnes již nedílnou součástí při návrhu vzduchotechnických zařízení. Důvodem je především snížení energetické náročnosti budovy jako celku, z něhož VZT pokrývá dle průzkumu až 40 %. Každý z výše uvedených druhů má své výhody a nevýhody a nelze říct, který je nejlepší. Projektant vybírá zařízení vždy na míru určitému objektu podle konkrétních podmínek a po-

žadavků. Vzduchotechnické zařízení se zpětným získáváním tepla by mělo být dnes součástí každé novostavby, protože nám zajistí kvalitnější interní mikroklima a ušetří finance za tepelnou energii.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

ČÁST B – VÝPOČTOVÁ ČÁST

VZDUCHOTECHNIKA V MULTIFUNKČNÍM CENTRU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Leona Svobodová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

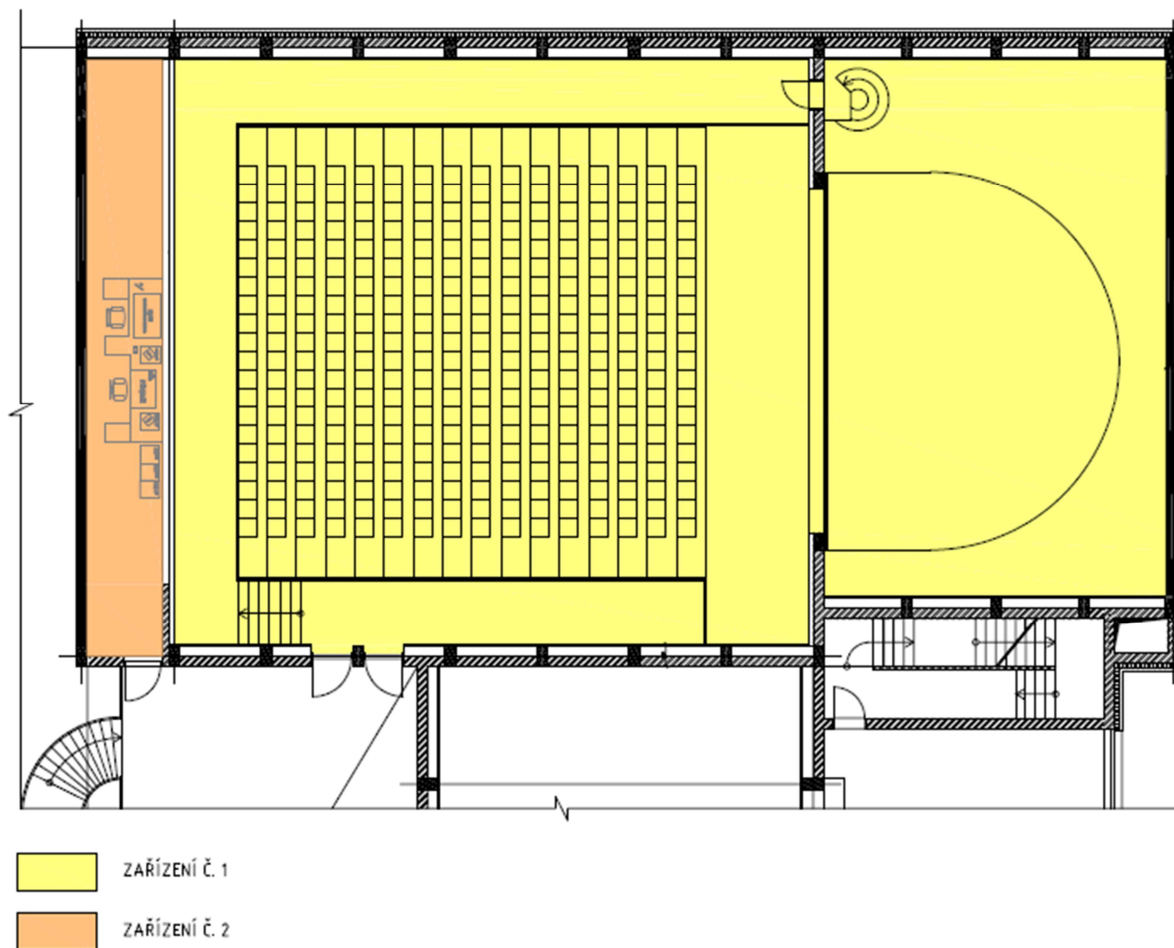
doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2020

1 ANALÝZA OBJEKTU

Zařízení č. 1 – Teplovzdušné vytápění multifunkčního sálu a jeviště

Zařízení č. 2 – Teplovzdušné větrání místnosti obsluhy sálu



Obr. 14 Rozdělení na funkční celky

1.1 KLIMATICKÉ ÚDAJE STAVBY

Budova je umístěna v Brně v nadmořské výšce 235 m. n. m.

Tab. 1 Klimatické údaje stavby

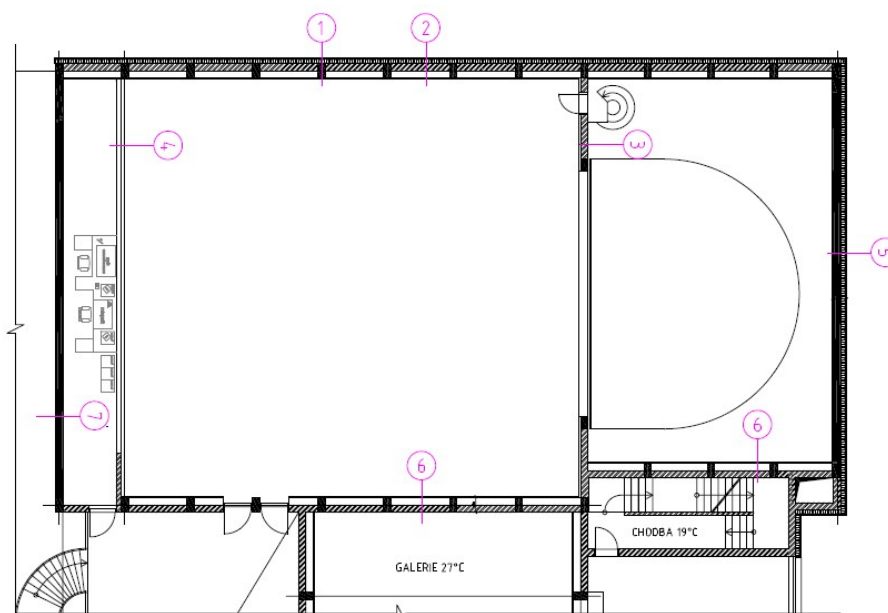
	Teplota [°C]	Entalpie [kJ/kg]
Zima	-12	-
Léto	32	60,5

1.2 POŽADAVKY NA VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ

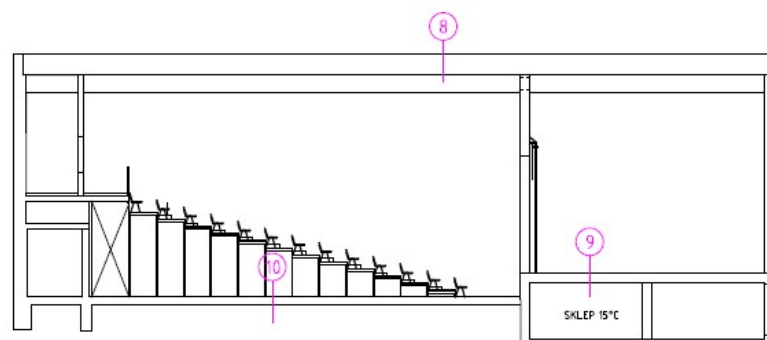
Tab. 2 Požadavky na vnitřní prostředí 1

	Teplota [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]
Zima	22	35
Léto	24	50

2 VÝPOČET SOUČINITELŮ PROSTUPU TEPLA



Obr. 15 Skladby konstrukcí v půdoryse



Obr. 16 Skladby konstrukcí v řezu

Tab. 3 Výpočet součinitelů prostupu tepla

S1 - obvodová stěna v místě ŽB sloupu				
Vrstva	Materiál	d [m]	λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	R [m ² KW ⁻¹]
1	Fasádní systém	0,01	0,12	0,08
2	Fasádní polystyren EPS Styrotrade	0,2	0,037	5,41
3	Železobetonový sloup	0,6	1,74	0,34
4	SDK deska Knauf white	0,0125	0,22	0,06
5	Vnitřní omítka	0,007	0,12	0,06
celková tloušťka [m]		0,8295	$\Sigma R=$	5,95

R _{si} [m ² KW ⁻¹]=	0,13
R _{se} [m ² KW ⁻¹]=	0,04
R _T [Wm ⁻² K ⁻¹]=	6,12
U [Wm⁻²K⁻¹]=	0,16
U _{rec,20} [Wm ⁻² K ⁻¹]=	0,2

S2 - obvodová stěna v místě vzduchové mezery				
Vrstva	Materiál	d [m]	λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	R [m ² KW ⁻¹]
1	Fasádní systém	0,01	0,12	0,08
2	Fasádní polystyren EPS Styrotrade	0,2	0,037	5,41
3	Pórobetonové zdivo Standard PDK 300	0,3	0,105	2,86
4	Vzduchová mezera	0,3	0,026	11,54
5	SDK deska Knauf white	0,0125	0,22	0,06
6	Vnitřní omítka	0,007	0,12	0,06
celková tloušťka [m]		0,8295	$\Sigma R=$	20,00

R _{si} [m ² KW ⁻¹]=	0,13
R _{se} [m ² KW ⁻¹]=	0,13
R _T [Wm ⁻² K ⁻¹]=	20,26
U [Wm⁻²K⁻¹]=	0,049
U _{rec,20} [Wm ⁻² K ⁻¹]=	0,2

S3 - zdivo dělicí jeviště a podium				
Vrstva	Materiál	d [m]	λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	R [m ² KW ⁻¹]
1	Vnitřní tepelně izolační omítka Ytong	0,007	0,12	0,06
2	Pórobetonové zdivo Standard PDK 300	0,3	0,105	2,86
3	Vnitřní tepelně izolační omítka Ytong	0,007	0,12	0,06
celková tloušťka [m]		0,314	$\Sigma R=$	2,97

R _{si} [m ² KW ⁻¹]=	0,13
R _{se} [m ² KW ⁻¹]=	0,13
R _T [Wm ⁻² K ⁻¹]=	3,23
U [Wm⁻²K⁻¹]=	0,309
U _{rec,20} [Wm ⁻² K ⁻¹]=	1,8

S4 - příčka mezi režií a jevištěm				
Vrstva	Materiál	d [m]	λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	R [m ² KW ⁻¹]
1	Vnitřní tepelně izolační omítka Ytong	0,007	0,12	0,06
2	Pórobetonové zdivo Klasik 200	0,2	0,137	1,46
3	Vnitřní tepelně izolační omítka Ytong	0,007	0,12	0,06
celková tloušťka		0,214	$\Sigma R=$	1,58

R _{si} [m ² KW ⁻¹]=	0,13
R _{se} [m ² KW ⁻¹]=	0,13
R _T [Wm ⁻² K ⁻¹]=	1,84
U [Wm⁻²K⁻¹]=	0,544
U _{rec,20} [Wm ⁻² K ⁻¹]=	0,9

S5 - obvodová betonová stěna - jeviště				
Vrstva	Materiál	d [m]	λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	R [m ² KW ⁻¹]
1	Fasádní systém	0,01	0,12	0,08
2	Fasádní polystyren EPS Styrotrade	0,2	0,037	5,41
3	Železobetonová stěna	0,35	1,74	0,20
4	Vnitřní tepelně izolační omítka Ytong	0,007	0,12	0,06
celková tloušťka		0,567	$\Sigma R=$	5,75

R _{si} [m ² KW ⁻¹]=	0,13
R _{se} [m ² KW ⁻¹]=	0,13
R _T [Wm ⁻² K ⁻¹]=	6,01
U [Wm⁻²K⁻¹]=	0,166
U _{rec,20} [Wm ⁻² K ⁻¹]=	0,9

S6 - vnitřní nosná stěna v místě ŽB sloupu				
Vrstva	Materiál	d [m]	λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	R [m ² KW ⁻¹]
1	Fasádní systém	0,01	0,12	0,08
2	Fasádní polystyren EPS Styrotrade	0,2	0,037	5,41
3	Železobetonový sloup	0,6	1,74	0,34
4	SDK deska Knauf white	0,0125	0,22	0,06
5	Vnitřní omítka	0,007	0,12	0,06
celková tloušťka [m]		0,8295	$\Sigma R=$	5,95

R _{si} [m ² KW ⁻¹]=	0,13
R _{se} [m ² KW ⁻¹]=	0,13
R _T [Wm ⁻² K ⁻¹]=	6,21
U [Wm⁻²K⁻¹]=	0,161
U _{rec,20} [Wm ⁻² K ⁻¹]=	0,2

S7 - vnitřní nosná betonová stěna - jeviště				
Vrstva	Materiál	d [m]	λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	R [m ² KW ⁻¹]
1	Vnitřní tepelně izolační omítka Ytong	0,007	0,12	0,06
2	Fasádní polystyren EPS Styrotrade	0,2	0,037	5,41
3	Železobetonová stěna	0,35	1,74	0,20
4	Vnitřní tepelně izolační omítka Ytong	0,007	0,12	0,06
celková tloušťka		0,564	$\Sigma R=$	5,72

R _{si} [m ² KW ⁻¹]=	0,13
R _{se} [m ² KW ⁻¹]=	0,13
R _T [Wm ⁻² K ⁻¹]=	5,98
U [Wm⁻²K⁻¹]=	0,167
U _{rec,20} [Wm ⁻² K ⁻¹]=	0,9

S8 - pochůzí plochá střecha				
Vrstva	Materiál	d [m]	λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	R [m ² KW ⁻¹]
1	Dlažba na podložkách	0,03	0,22	0,14
2	PE rohož	0,08	0,35	0,23
3	Tepelná izolace EPS	0,15	0,037	4,05
4	Drenážní vrstva z nopové folie	0,025	0,16	0,16
5	Asfaltový pás	0,0035	0,21	0,02
6	Tepelná izolace EPS	0,15	0,037	4,05
7	Lehký beton ve spádu	0,17	0,2	0,85
8	Železobetonová deska	0,15	1,74	0,09
9	Vnitřní tepelně izolační omítka Ytong	0,007	0,12	0,06
celková tloušťka		0,7655	$\Sigma R=$	9,64

R _{si} [m ² KW ⁻¹]=	0,1
R _{se} [m ² K/W]=	0,10
R _T [Wm ⁻² K ⁻¹]=	9,84
U [Wm⁻²K⁻¹]=	0,102
U _{rec,20} [Wm ⁻² K ⁻¹]=	0,2

S9 - podlaha pod jevištěm				
Vrstva	Materiál	d [m]	λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	R [m ² KW ⁻¹]
1	Linoleum	0,003	0,19	0,02
2	Lepidlo	0,002		
3	Penetrace			
4	Podkladní betonová mazanina	0,05	1,23	0,04
5	PE folie			
6	Kročeňová izolace	0,05	0,037	1,35
7	Nosná stropní železobetonová deska	0,25	1,74	0,14
celková tloušťka		0,355	$\Sigma R=$	1,55

R _{si} [m ² KW ⁻¹]=	0,1
R _{se} [m ² K/W]=	0,10
R _T [Wm ⁻² K ⁻¹]=	1,75
U [Wm⁻²K⁻¹]=	0,571
U _{rec,20} [Wm ⁻² K ⁻¹]=	0,7

S10 - podlaha hlediště				
Vrstva	Materiál	Tloušťka konstrukce [m]	λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	R [m ² KW ⁻¹]
1	Koberec	0,008	0,065	0,05
2	Lepidlo			
3	Cementový potěr	0,035	1,2	0,03
4	PE folie	0,001	0,2	0,01
5	Penetrace	0,001		
6	Hydroizolační stěrka	0,001	0,88	0,00
7	Penetrace	0,001		
8	PE folie	0,001	0,2	0,01
9	Tepelná izolace Styrodur 4000 CS	0,12	0,035	3,43
10	Cementový potěr	0,05	0,9	0,06
11	HI pás s SBS modifikovaného asfaltu- ALU vložka	0,004		
12	HI pás s SBS modifikovaného asfaltu- skelná vložka	0,004		
13	Podkladní beton	0,15		
celková tloušťka		0,376	$\Sigma R=$	3,57

R _{si} [m ² KW ⁻¹]=	0,17
R _{se} [m ² K/W]=	0,04
R _T [Wm ⁻² K ⁻¹]=	3,78
U [Wm⁻²K⁻¹]=	0,260
U _{rec,20} [Wm ⁻² K ⁻¹]=	0,3

3 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT

Tepelné ztráty jednotlivých místností byly vypočteny zjednodušenou metodou pro výpočet tepelných ztrát.

Výpočet byl proveden pro zařízení č. 1 – místnost multifunkčního sálu i pro zařízení č. 2 – místnost režie.

Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí

$$H_{T,ie} = \sum (A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k) \text{ [W/K]}$$

Kde A_k plocha konstrukce [m^2]
 U_{kc} součinitel prostupu tepla konstrukce [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
 e_k korekční činitel [-]

$$U_{kc} = U_k + \Delta U \text{ [W}/\text{m}^2\text{K]}$$

kde ΔU korekční součinitel zahrnující exponování, klimatické podmínky [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

Tepelné ztráty zeminou

$$H_{T,ig} = (\sum A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w \text{ [W/K]}$$

kde $U_{equiv,k}$ ekvivalentní součinitel prostupu tepla konstrukce v kontaktu se zeminou [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

f_{g1} opravný součinitel, uvažující vliv roční změny průběhu venkovní teploty, stanovena národní hodnota [-]

f_{g2} opravný teplotní součinitel, zahrnující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou a výpočtovou venkovní teplotou [-]

G_w opravný součinitel na vliv spodní vody [-]

$$f_{g2} = (\theta_{int,i} - \theta_{m,e}) (\theta_{int,i} - \theta_e) \text{ [-]}$$

kde $\theta_{int,i}$ teplota interiéru [$^{\circ}\text{C}$]

$\theta_{m,e}$ teplota zeminy [$^{\circ}\text{C}$]

θ_e venkovní výpočtová teplota [$^{\circ}\text{C}$]

Tepelné ztráty z/do prostorů rozdílné teploty

$$H_{T,ij} = \sum (A_k \cdot U_k \cdot f_{ij}) \text{ [W/K]}$$

kde f_{ij} součinitel redukce teploty [-]

$$f_{ij} = (\theta_{int,i} - \theta_j) / (\theta_{int,i} - \theta_e) \text{ [-]}$$

kde θ_j teplota přilehlého prostoru [°C]

Celková měrná tepelná ztráta prostupem

$$H_{T,i} = H_{T,ie} + H_{T,ig} + H_{T,ij} \text{ [W/K]}$$

Tab. 4 Výpočet tepelných ztrát

místnost: Hlediště a jeviště

Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí

Stavební konstrukce

č. k.	Popis	A_k	U_k	ΔU	U_{ke}	e_k	$A_k \cdot U_k \cdot e_k$
S1	Venkovní stěna	223,5	0,05	0,02	0,07	1	15,645
S8	Plochá střecha	470,6	0,1	0,02	0,12	1	56,472
D2	Dveře	5,55	1,1	0,02	1,12	1	6,216
S5	Venkovní betonová stěna	104,5	0,15	0,02	0,17	1	17,765
Celková měrná tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí: $H_{T,ie}$ (W/K) =					96,098		

Tepelné ztráty nevytápěným prostorem

Stavební konstrukce

č. k.	Popis	A_k	U_k	ΔU	U_{ke}	b_u	$A_k \cdot U_k \cdot b_u$
S9	Podlaha pod jevištěm	161,8	0,57	0,02	0,59	0,25	23,8655
Celková měrná tepelná ztráta nevytápěným prostorem: $H_{T,iue}$ (W/K) =					23,8655		

Součinitel redukce teploty

$b_u = 0,25$

Tepelné ztráty z/do prostorů vytápěných na jinou teplotu

Stavební konstrukce

č. k.	Popis	A_k	U_k	f_{ij}	$A_k \cdot U_k \cdot f_{ij}$
S6	Jeviště/chodba	73,7	0,16	0,13888889	1,637777778
S6	Hlediště/galerie	142,12	0,16	-0,08333333	-1,894933333
D3	Dveře na chodbu	3,8	3,5	0,13888889	1,847222222
D3	Dveře do galerie	23,6	3,5	-0,08333333	-6,883333333
Celková měrná tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí: $H_{T,ij}$ (W/K) =					-5,293266667

Součinitel redukce teploty pro galerii

$f_{ij} = -0,083333$

Součinitel redukce teploty pro chodbu

$f_{ij} = 0,138889$

Tepelné ztráty zeminou

Stavební konstrukce

č. k.	Popis	A_k	$U_{equiv,k}$	$A_k \cdot U_{equiv,k}$	f_{g1}	f_{g2}	G_w
S10	Podlaha hlediště	314,2	0,17	53,414	1,45	0,5	1
Celková měrná tepelná ztráta zeminou: $H_{T,ig} = (\sum A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot f_{g1} - f_{g2} \cdot G_w$ (W/K)							38,72515

Celková měrná tepelná ztráta prostupem: $H_{T,i} = H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ij} + H_{T,ig}$					153,395	W/K
$\theta_{int,i}$	θ_e	$\theta_{int,i} - \theta_e$	$H_{T,i}$	Návrhová ztráta prostupem $\Phi_{T,i}$ (W/K)		
24	-12	36	153,395	5522,2338		

místnost: Režie

Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí

Stavební konstrukce

č. k.	Popis	A_k	U_k	ΔU	U_{kc}	e_k	$A_k \cdot U_k \cdot e_k$
S1	Venkovní stěna	9,1	0,05	0,02	0,07	1	0,637
S8	Plochá střecha	37,7	0,1	0,02	0,12	1	4,524
Celková měrná tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí: $H_{T,je}$ (W/K) =					5,161		

Tepelné ztráty nevytápěným prostorem

Stavební konstrukce

č. k.	Popis	A_k	U_k	ΔU	U_{kc}	b_u	$A_k \cdot U_k \cdot b_u$
S9	Podlaha	37,7	0,57	0,02	0,59	0,25	5,56075
Celková měrná tepelná ztráta nevytápěným prostorem: $H_{T,ue}$ (W/K) =					5,56075		

Součinitel redukce teploty

$b_u =$	0,25
---------	------

Tepelné ztráty z/do prostorů vytápěných na jinou teplotu

Stavební konstrukce

č. k.	Popis	A_k	U_k	f_{ij}	$A_k \cdot U_k \cdot f_{ij}$
S7	Betonová stěna	73,7	0,17	-0,0833333	-1,044083333
S6	Skeletový systém	9,1	0,16	-0,0833333	-0,121333333
D1	Dveře do galerie	2,53	3,5	-0,0833333	-0,737916667
Celková měrná tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí: $H_{T,ji}$ (W/K) =					-1,903333333

$f_{ij} =$	-0,083333
------------	-----------

Celková měrná tepelná ztráta prostupem: $H_{T,j} = H_{T,je} + H_{T,ue} + H_{T,ji}$				8,818	W/K
$\theta_{int,i}$	θ_e	$\theta_{int,i} - \theta_e$	$H_{T,j}$	Návrhová ztráta prostupem $\Phi_{T,j}$ (W/K)	
24	-12	36	8,818	317,463	

4 LEGENDA MÍSTNOSTNÍ

Tab. 5 Legenda místností

ZAŘÍZENÍ Č.1							
Č.	NÁZEV	PLOCHA [m ²]	OBJEM [m ³]	LÉTO		ZIMA	
				REL. VLHKOST [%]	TEPLOTA [°C]	REL. VLHKOST [%]	TEPLOTA [°C]
101	JEVIŠTĚ	161,8	1238	50	24	35	22
102	HLEDIŠTĚ	314,2	2202	50	24	35	22

ZAŘÍZENÍ Č.2							
Č.	NÁZEV	PLOCHA [m ²]	OBJEM [m ³]	LÉTO		ZIMA	
				REL. VLHKOST [%]	TEPLOTA [°C]	REL. VLHKOST [%]	TEPLOTA [°C]
103	REŽIE, OSVĚTLENÍ, ZVUK	36,9	156,8	50	24	35	22

5 VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE

Výpočet byl proveden pro multifunkční sál i místnost režie pomocí softwaru Teruna pro letní i zimní období. Pro letní období je uvažováno datum 21.7. a pro zimní období 4.2.

5.1 Multifunkční sál

Multifunkční sál má kapacitu 320 lidí. Je uvažováno, že obsluha sálu (promítač, uklízeči atd.) budou přítomni od 12 hod. Ve 12.30 začne promítání filmů, mezi kterými

bude 30minutová pauza. V 23 hod. končí poslední film a obsluha sálu se v prostorách zdržuje do 24 hod.

5.11 Tepelná zátěž v letním období

Osvětlení[1]: 12 - 12.5h, 4500W

Osvětlení[2]: 14 - 14.5h, 4500W

Osvětlení[3]: 16 - 16.5h, 4500W

Osvětlení[4]: 18 - 18.5h, 4500W

Osvětlení[5]: 20 - 20.5h, 4500W

Osvětlení[6]: 23 - 24h, 4500W

Větrání[1]: 0 - 24h, 11000m³/h

Ostatní tepelné zdroje: NE

Odpar vody: NE

Biologická produkce[1]: 12.5 - 23h, 75kg, počet osob: 320

Biologická produkce[2]: 23 - 24h, 75kg, počet osob: 3

Biologická produkce[3]: 12 - 12.5h, 75kg, počet osob: 3

Sálavé plochy: NE

***** VÝSLEDKY *****

Maxima tepelné zátěže:

21.7. 20.5h: Cítné teplo Max= 21932.84W

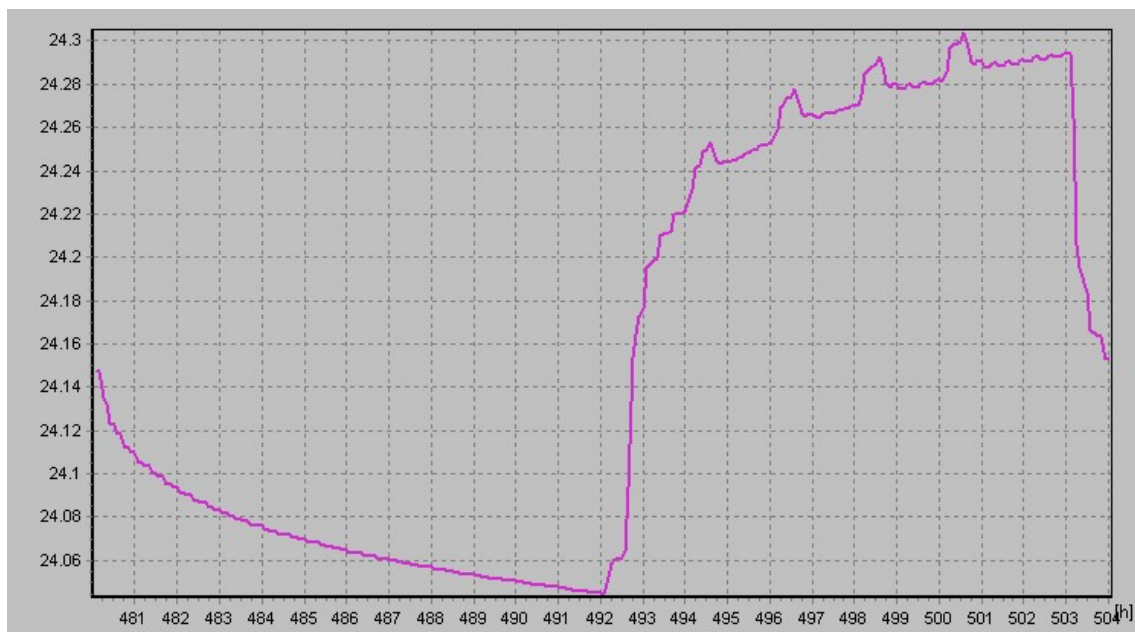
21.7. 11.92h: Cítné teplo Min= -1817.64W

21.7. 20.5h: Vázané teplo=16210.81W Merna Tz = -2.89W/K

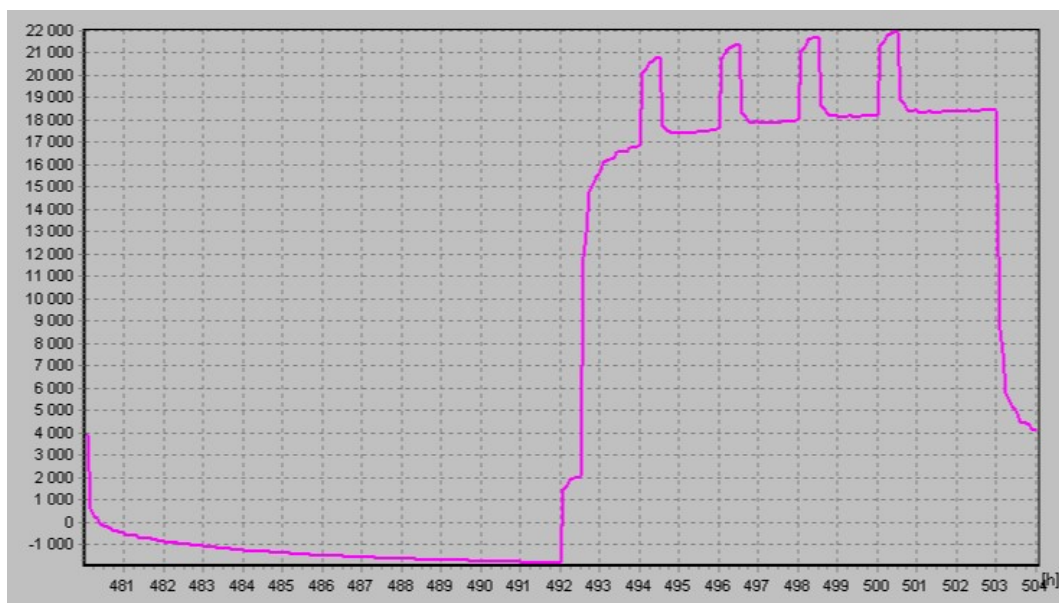
21.7. 20.5h: Potřeba chladu = 199.38kWh Potřeba tepla = 15.89kWh

Suma potřeby chladu = 199.38kWh

Suma potřeby tepla = 15.89kWh



Obr. 17 Průběh teplot v letním období



Obr. 18 Tepelná zátěž v letním období

5.1.2 TEPELNÁ ZÁTĚŽ V ZIMNÍM OBDOBÍ

***** VÝSLEDKY *****

Maxima tepelné zátěže:

4.2. 20.5h: Cítné teplo Max= 9351.28W

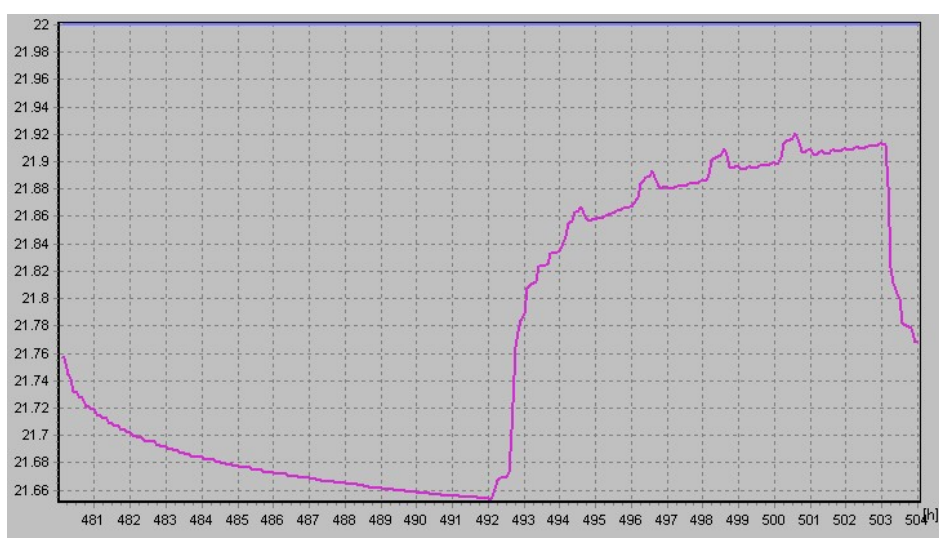
4.2. 11.75h: Cítné teplo Min= -16271.7W

4.2. 20.5h: Vázané teplo=14711.06W Merna Tz = -1.47W/K

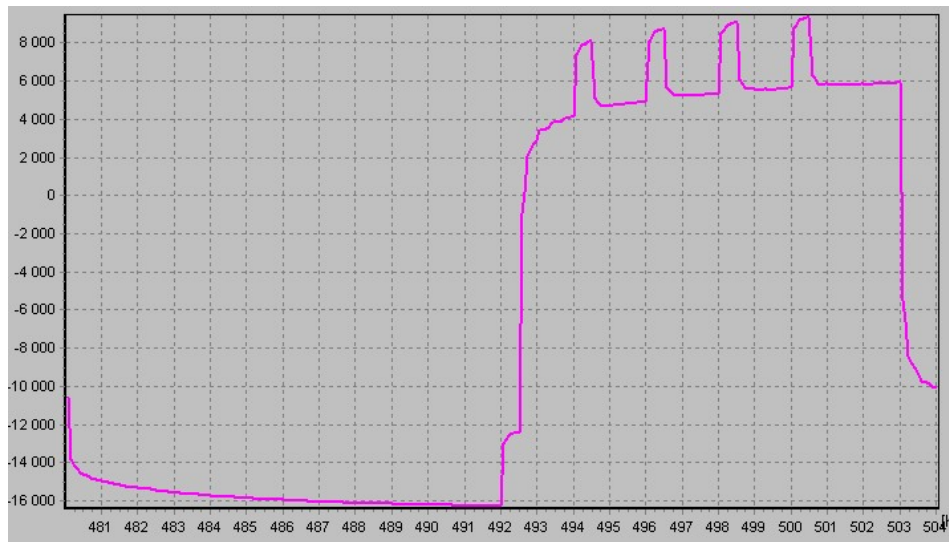
4.2. 20.5h: Potřeba chladu = 60.2kWh Potřeba tepla = 204.49kWh

Suma potřeby chladu = 60.2kWh

Suma potřeby tepla = 204.49kWh



Obr. 19 Průběh teplot v zimním období



Obr. 20 Tepelná zátěž v zimním období

5.2 Místnost režie, osvětlení a zvuku

V místnosti jsou uvažovány následující spotřebiče a jejich výkon:

- Mixážní pult – 50 W
- 2x PC s LCD obrazovkou – $2 * (325 + 200) = 1050 \text{ W}$
- Filmový projektor – 2600 W

Celková zátěž od spotřebičů je 3700 W.

5.2.1 Tepelná zátěž v letním období

Osvětlení[1]: 12 - 24h, 380W

Větrání[1]: 0 - 24h, 150m³/h

Ostatní tepelné zdroje[1]: 12.5 - 23h, 3700W

Odpar vody: NE

Biologická produkce[1]: 12 - 23h, 75kg, počet osob: 4

Biologická produkce[2]: 23 - 24h, 75kg, počet osob: 1

Sálavé plochy: NE

***** VÝSLEDKY *****

Maxima tepelné zátěže:

21.7. 22.92h: Citelné teplo Max= 5197.59W

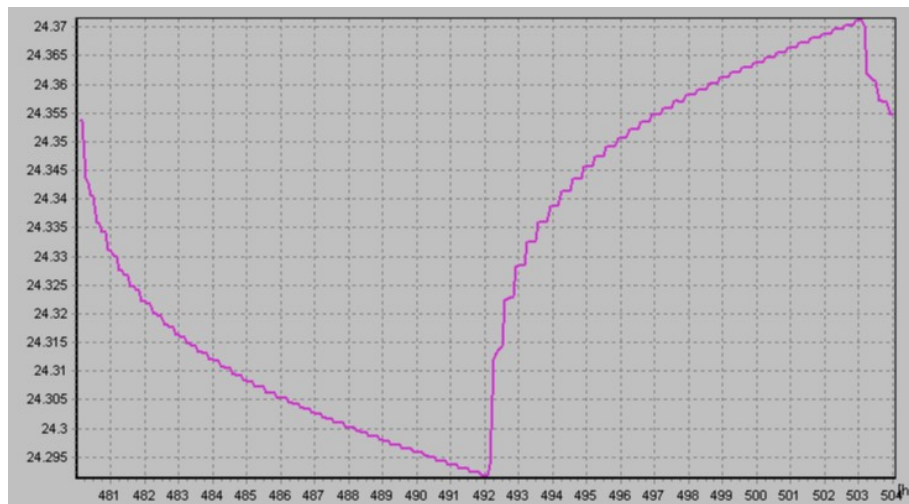
21.7. 11.92h: Citelné teplo Min= 852.9W

21.7. 22.92h: Vázané teplo=202.64W Merna Tz = -10.14W/K

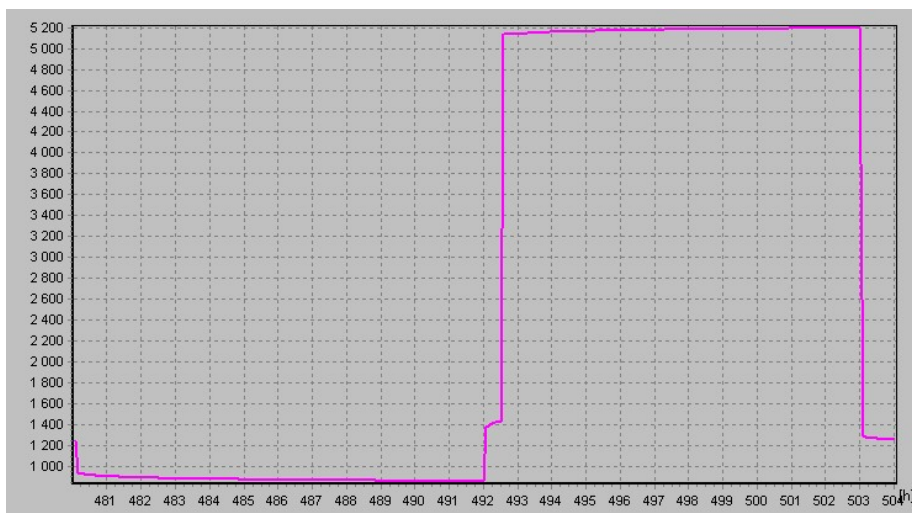
21.7. 22.92h: Potřeba chladu = 66.82kWh Potřeba tepla = 0kWh

Suma potřeby chladu = 66.82kWh

Suma potřeby tepla = 0kWh



Obr. 21 Průběh teplot v letním období



Obr. 22 Tepelná zátěž v letním období

5.2.2 Tepelná zátěž v zimním období

***** VÝSLEDKY *****

Maxima tepelné zátěže:

4.2. 22.92h: Citelné teplo Max= 4464.62W

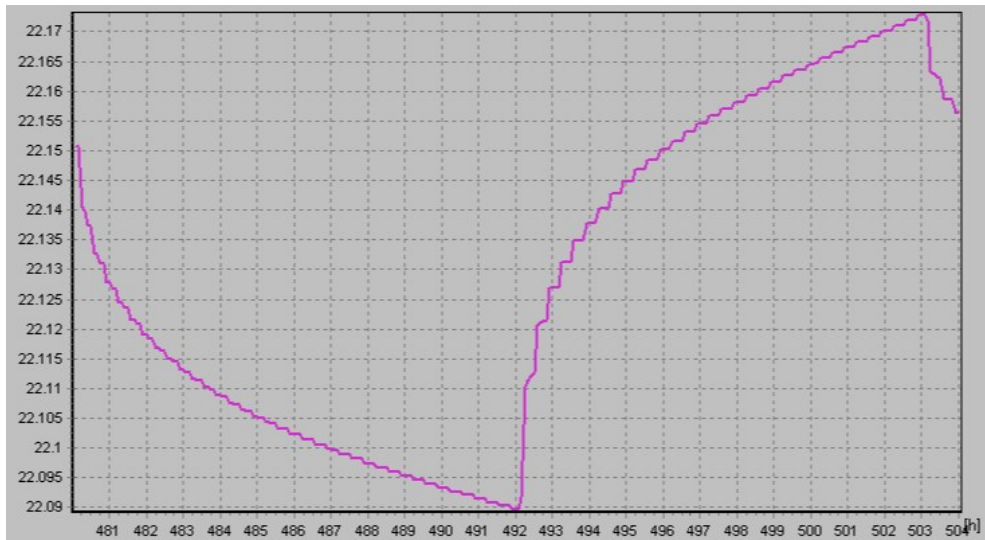
4.2. 11.92h: Citelné teplo Min= 86.47W

4.2. 22.92h: Vázané teplo=183.89W Merna Tz = -1.47W/K

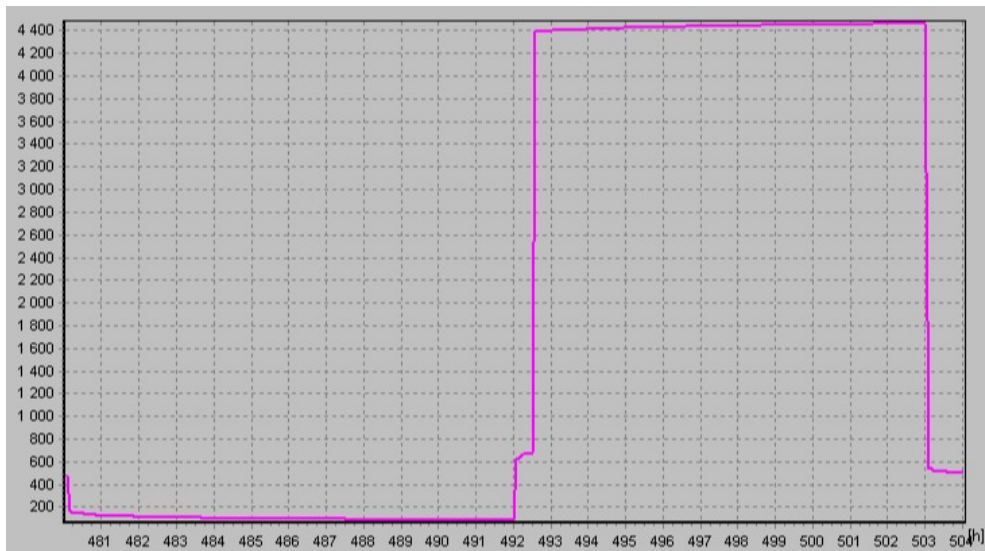
4.2. 22.92h: Potřeba chladu = 48.69kWh Potřeba tepla = 0kWh

Suma potřeby chladu = 48.69kWh

Suma potřeby tepla = 0kWh



Obr. 23 Průběh teplot v zimním období



Obr. 24 Tepelná zátěž v zimním období

6 STANOVENÍ PRŮTOKŮ VZDUCHU

6.1 ZAŘÍZENÍ Č.1

Objem místnosti: 3400 m³

LETNÍ OBDOBÍ

$\Delta t = 6$ K (zvoleno)

$$V_{\text{LÉTO}} = \frac{Q}{\rho c \Delta t} = \frac{21\,932}{1,2 \cdot 1010 \cdot 6} = 3,05 \text{ m}^3/\text{s} = 10\,900 \text{ m}^3/\text{h}$$

ZIMNÍ OBDOBÍ

$$Q = 9\,351 \text{ W}$$

$$\Delta t = \frac{Q}{V\rho c} = \frac{9351}{3,05 \cdot 1,2 \cdot 1010} \doteq 3 \text{ K}$$

$$V_{\text{LIDÉ}} = 320 \cdot 35 = 11\,200 \text{ m}^3/\text{h}$$

Stanoven průtok vzduchu 11 000 m³/h.

VLHKOST VZDUCHU

Pro divadla a kina: 60 g/h*os

$$M_w = 320 \cdot 60 = 19\,200 \text{ g/hod} = 19,2 \text{ l/hod}$$

$$\Delta x = \frac{M_w}{\rho V} = \frac{19200}{1,2 \cdot 11000} = 1,45 \text{ g/kg}$$

6.2 ZAŘÍZENÍ Č.2

LETNÍ OBDOBÍ

$$\Delta t = 3 \text{ K (zvoleno)}$$

$$V_{\text{LÉTO}} = \frac{Q}{\rho c \Delta t} = \frac{5198}{1,2 \cdot 1010 \cdot 3} = 1,43 \text{ m}^3/\text{s} = 5\,200 \text{ m}^3/\text{h}$$

ZIMNÍ OBDOBÍ

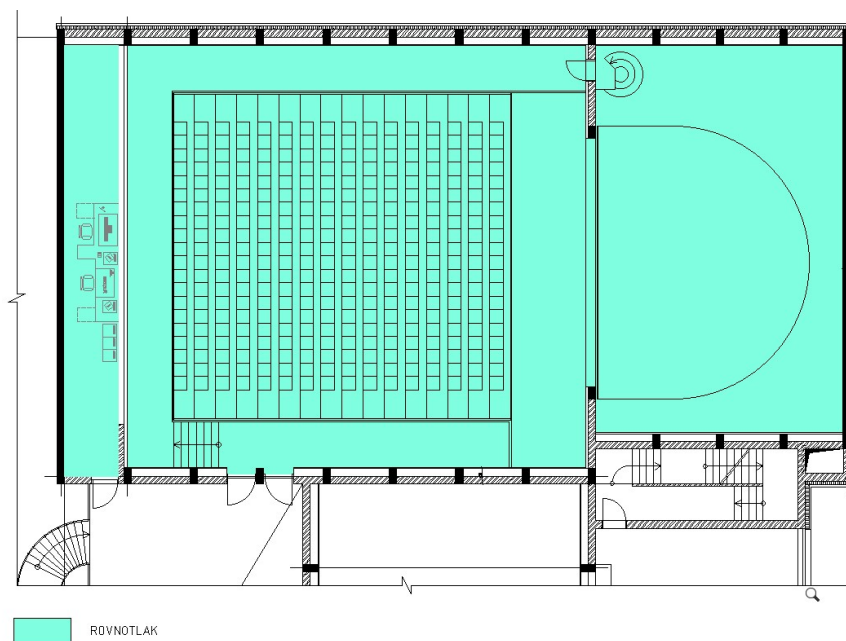
$$Q = 4\,465 \text{ W}$$

$$\Delta t = \frac{Q}{V\rho c} = \frac{4465}{1,43 \cdot 1,2 \cdot 1010} \doteq 3 \text{ K}$$

Stanoven průtok vzduchu 5 200 m³/h.

7 ROZDĚLENÍ ZAŘÍZENÍ NA TLAKOVÉ POMĚRY

Zařízení č. 1 i zařízení č. 2 jsou v rovnotlaku.



Obr. 25 Tlakové poměry

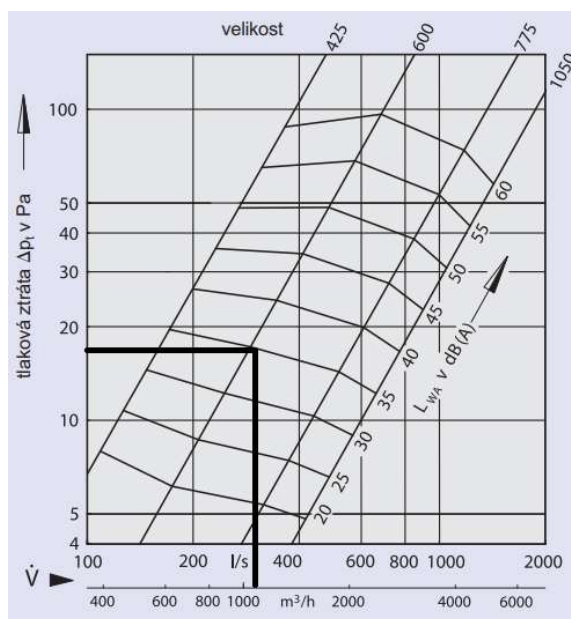
8 DISTRIBUČNÍ ELEMENTY

8.1 Vířivý anemostat

Jako distribuční prvky pro přívod vzduchu byly navrženy vířivé anemostaty od firmy TROX typu VD. Jsou vhodné pro instalaci ve velkých výškách, proto jsem je zvolila jak v hledišti, kde je světlá výška místnosti 7,65 m, tak v jevišti, kde je světlá výška 4,25 m. Nastavitelné lamely umožňují horizontální směr pro režim chlazení a vertikální směr pro režim vytápění.



Obr. 26 Vířivý anemostat



Obr. 27 Tlaková ztráta a akustický výkon

Tab. 6 Parametry přívodního elementu

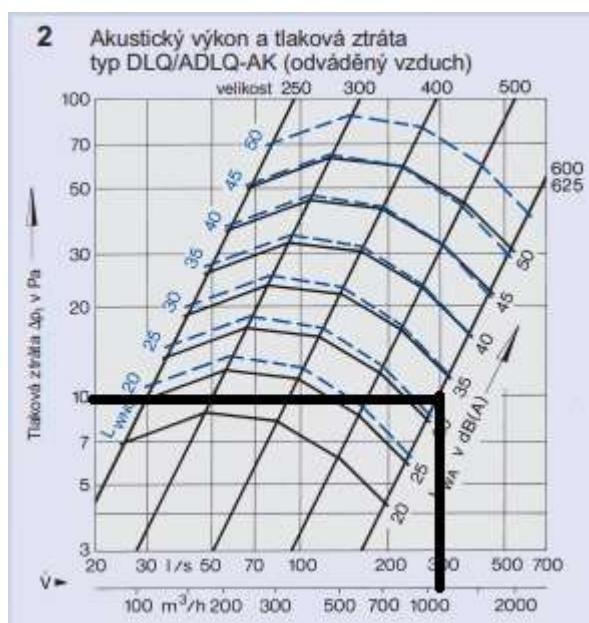
Místnost	Průtok jednoho prvku [m ³ /h]	Počet [ks]	Tlaková ztráta [Pa]	Akustický výkon [dB(A)]	Celkový průtok [m ³ /h]
101 + 102	1100	10	17	35	11000

8.2 STROPNÍ ANEMOSTAT

Jako odvodní prvky jsem zvolila stropní anemostaty od firmy TROX typu DLQ ADLQ ve čtvercovém provedení, které jsou vyrobené z hliníku.



Obr. 28 Stropní anemostat



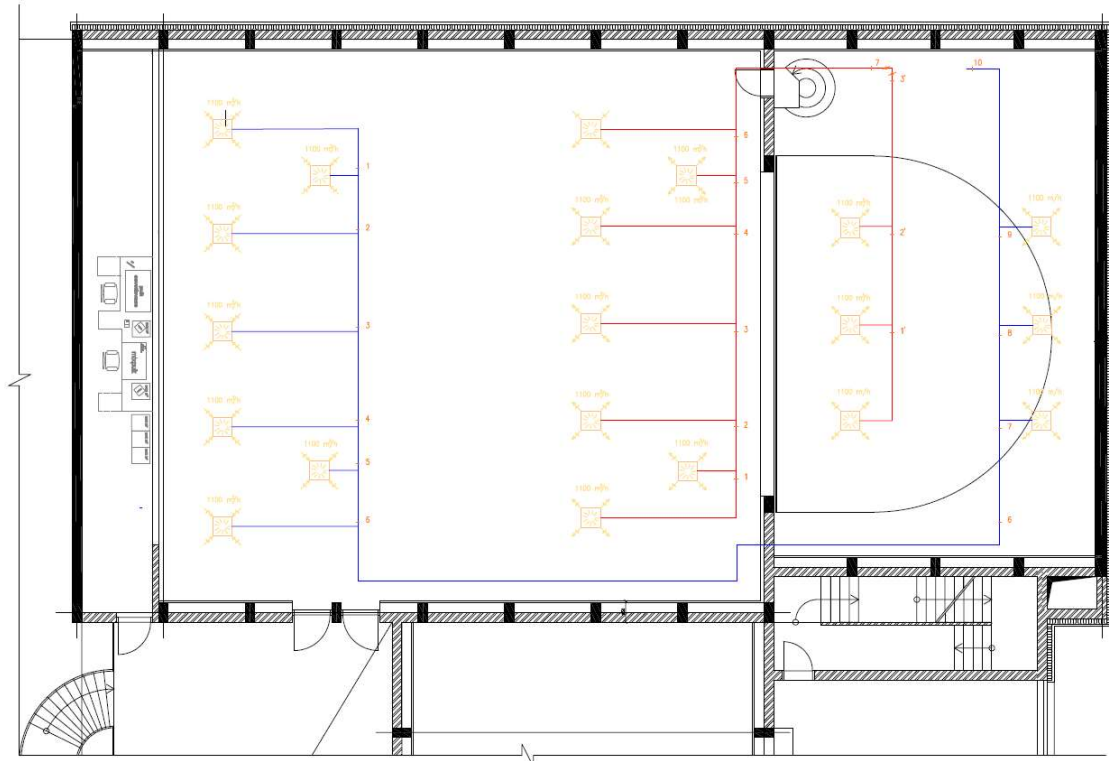
Obr. 29 Tlaková ztráta a akustický výkon

Tab. 7 Parametry odvodního elementu

Místnost	Průtok jednoho prvku [m^3/h]	Počet [ks]	Tlaková ztráta [Pa]	Akustický výkon [dB(A)]	Celkový průtok [m^3/h]
101 + 102	1100	10	10	33	11000

9 DIMENZOVÁNÍ POTRUBÍ

Pro distribuci vzduchu bylo navrženo obdélníkové potrubí z pozinkovaného ocelového plechu. Distribuční elementy budou napojeny k potrubí pomocí kruhového, ohebného, zvukově izolačního potrubí. Potrubí budou probíhat v podhledu.



Obr. 30 Schéma dimenzování potrubí

Tab. 8 Dimenzace potrubí

PŘÍVOD - HLEDIŠTĚ											
Pořadové číslo úseku potrubí	Průtok vzduchu v úseku [m ³ /h]	Délka úseku [m]	Předběžná rychlost [m/s]	Průtočná plocha S [m ²]	Průměr kruhového potrubí d [m]	AxB [m]	Skutečná plocha S [m ²]	Skutečná rychlost [m/s]	Měrná tlaková ztráta [Pa/m]	Vrazený odpor E	Součet tlakové ztráty Z+R*L
1	1100	5,7	3	0,10	0,36	630x250	0,157	1,94	0,139	0,6	0,408564
2	2200	2,7	3,33	0,18	0,48	630x400	0,252	2,43	0,141	0,6	0,511758
3	3300	7,2	3,66	0,25	0,56	630x500	0,315	2,91	0,165	0,6	0,612846
4	4400	7,2	3,99	0,31	0,62	630x560	0,35	3,46	0,212	0,6	0,728676
5	5500	5,7	4,32	0,35	0,67	710x560	0,4	3,84	0,238	0,6	0,808704
6	6600	2,6	4,65	0,39	0,71	800x560	0,45	4,09	0,25	0,6	0,861354
7	7700	10,3	4,88	0,43	0,74	900x560	0,504	4,24	0,253	0,6	0,892944
celkem										13,32	

PŘÍVOD - JEVIŠTĚ											
Pořadové číslo úseku potrubí u	Průtok vzduchu v úseku [m ³ /h]	Délka úseku [m]	Předběžná rychlost [m/s]	Průtočná plocha S [m ²]	Průměr kruhového potrubí d [m]	AxB [m]	Skutečná plocha S [m ²]	Skutečná rychlost [m/s]	Měrná tlaková ztráta [Pa/m]	Vrazený odpor E	Součet tlakové ztráty Z+R*L
A	1100	4	3	0,10	0,36	630x250	0,157	1,94	0,139	0,6	0,408564
B	2200	4	4	0,15	0,44	630x400	0,252	2,43	0,141	0,6	0,511758
C	3300	5,5	5	0,18	0,48	630x500	0,315	2,91	0,165	0,6	0,612846
celkem										3,56	

PŘÍVOD - OD JEDNOTKY K REGULACNÍM KLAPKÁM											
Pořadové číslo úseku potrubí u	Průtok vzduchu v úseku [m ³ /h]	Délka úseku [m]	Předběžná rychlost [m/s]	Průtočná plocha S [m ²]	Průměr kruhového potrubí d [m]	AxB [m]	Skutečná plocha S [m ²]	Skutečná rychlost [m/s]	Měrná tlaková ztráta [Pa/m]	Vrazený odpor E	Součet tlakové ztráty Z+R*L
8	11000	4	5	0,61	0,88	900x710	0,633	4,78	0,27	1,2	2,013356
celkem										3,09	

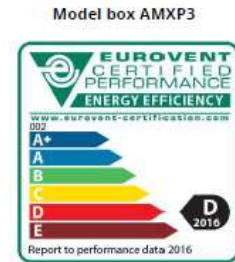
ODVOD											
Pořadové číslo úseku potrubí	Průtok vzduchu v úseku [m ³ /h]	Délka úseku [m]	Předběžná rychlost [m/s]	Průtočná plocha S [m ²]	Průměr kruhového potrubí d [m]	AxB [m]	Skutečná plocha S [m ²]	Skutečná rychlost [m/s]	Měrná tlaková ztráta [Pa/m]	Vrazený odpor E	Součet tlakové ztráty Z+R*L
1	1100	5,4	3	0,10	0,36	630x250	0,157	1,94	0,139	0,6	0,408564
2	2200	2,7	3,2	0,19	0,49	630x400	0,252	2,43	0,141	0,6	0,511758
3	3300	7	3,4	0,27	0,59	630x500	0,315	2,91	0,165	0,6	0,612846
4	4400	7	3,6	0,34	0,66	630x560	0,35	3,46	0,212	0,6	0,728676
5	5500	5,3	3,8	0,40	0,72	710x560	0,4	3,84	0,238	0,6	0,808704
6	6600	2,7	4	0,46	0,76	800x560	0,45	4,09	0,25	0,6	0,861354
7	7700	30,4	4,3	0,50	0,80	900x560	0,504	4,24	0,253	0,6	0,892944
8	8800	4	4,6	0,53	0,82	900x560	0,5	4,85	0,325	0,6	1,02141
9	9900	4	4,8	0,57	0,85	1000x560	0,56	4,91	0,319	0,6	1,034046
10	11000	5,9	5	0,61	0,88	1250x560	0,7	5,46	0,333	1,2	4,599504
celkem										56,07	

10 NÁVRH VZDUCHOTECHNICKÝCH JEDNOTEK

Pro návrh vzduchotechnických jednotek pro zařízení č. 1 i č. 2 byl použit software AeroCad od společnosti Remak.

10.1 ZAŘÍZENÍ Č. 1

Základní parametry zařízení		
Druh, rozměr	AeroMaster XP 17	
Řídicí jednotka VCS (Climatix)	Ne	
Hmotnost (+/-10%)	3 128 kg	
Umístění VZT jednotky	Venkovní včetně stříšky	
Materiálové provedení		
Vnější plášť	Lakovaný plech (RAL 9002)	
Vnitřní plášť	Pozinkovaný plech	
	Přívod	Odvod
Průtok vzduchu	11000 m ³ /h	11000 m ³ /h
Externí tlaková rezerva	120 Pa	140 Pa
Rychlost v průřezu	2.63 m/s	2.63 m/s
Výkon motoru nominální	5.50 kW	4.00 kW
Typ motoru ventilátoru	AC motor	AC motor
Frekv. měnič součást dodávky	Ano (IP21)	Ano (IP21)
1. stupeň filtrace	M5 / ISO Coarse 80 %	M5 / ISO Coarse 80 %
2. stupeň filtrace	-	-
SFP _W	1273 W.m ³ .s	1021 W.m ³ .s
		Parametry pláště dle EN1886
		Mechanická stabilita D2(M)
		Netěsnost skříně L2(M)
		Termická izolace T3(M)
		Faktor tepelných mostů TB3(M)
SFP _{WAU}	2294 W.m ³ .s	Netěsnost mezi filtrem a rámem < 0,5 % (F9)



Nejdůležitější parametry vybraných komponentů			
	Na straně vzduchu		Na straně média
Zpětný zisk tepla	-12.0 -> 13.9 °C	76 %, 93.6 kW	
Ohřev	13.9 -> 25.0 °C	41.0 kW	70/34 °C, Voda, 0.5 kPa, 0.99 m ³ /h, 1 1/2 "
Chlazení	26.1 -> 18.8 °C	27.6 kW	7/13 °C, Voda, 1.6 kPa, 3.95 m ³ /h, 1 1/2 "
Vlhčení	25.0 -> 25.0 °C	7 -> 22 %	45.0 kg/h, 33.8 kW**

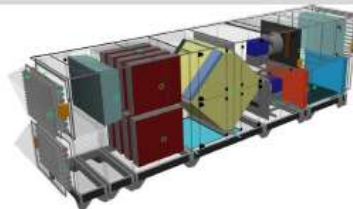
Detailní specifikace a výsledné parametry jsou součástí detailní specifikace vzduchotechnického zařízení

** Napájení a jističení zvlhčovače není řešeno z ŘJ VCS

Hlukové parametry zařízení

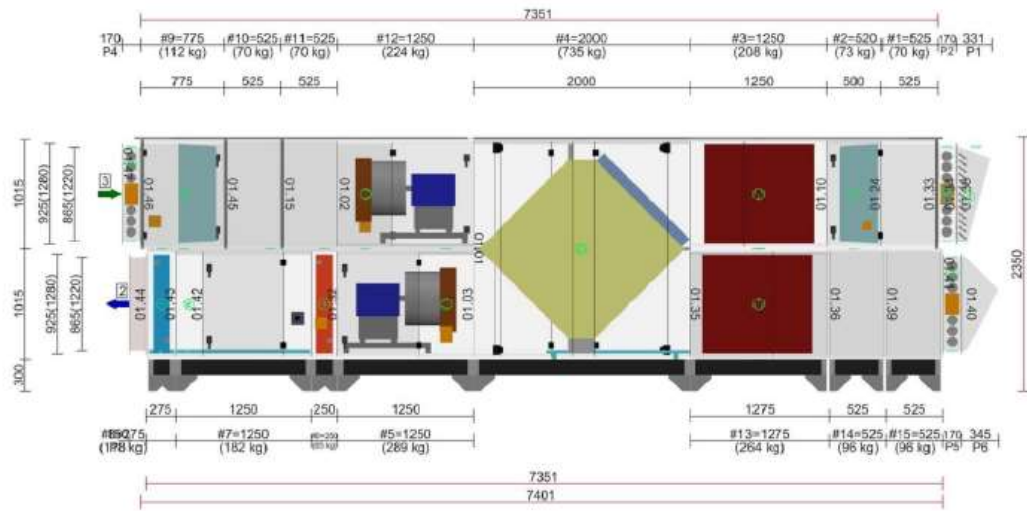
	LwA _{okt} [dB]								ΣLwA [dB(A)]
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
Přívod - sání	37	40	47	28	14	11	19	29	48
Přívod - výtlak	50	59	77	80	82	76	73	73	86
Přívod - okolí	44	45	61	56	57	51	50	47	64
Odvod - sání	45	57	75	72	69	67	65	70	79
Odvod - výtlak	43	47	54	40	27	22	31	39	55
Odvod - okolí	43	46	63	56	56	50	50	47	65

Axonometrický pohled na zařízení

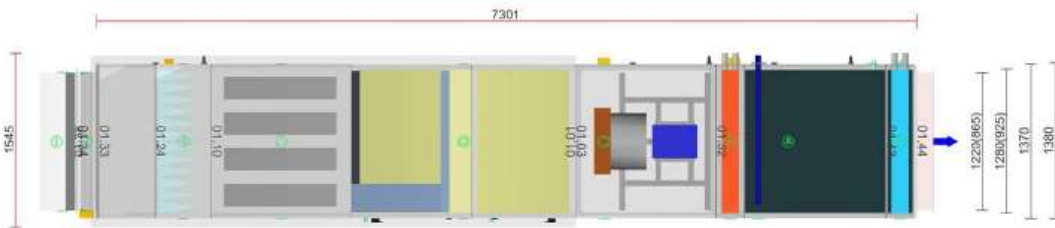


Bokorys servisní strany

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

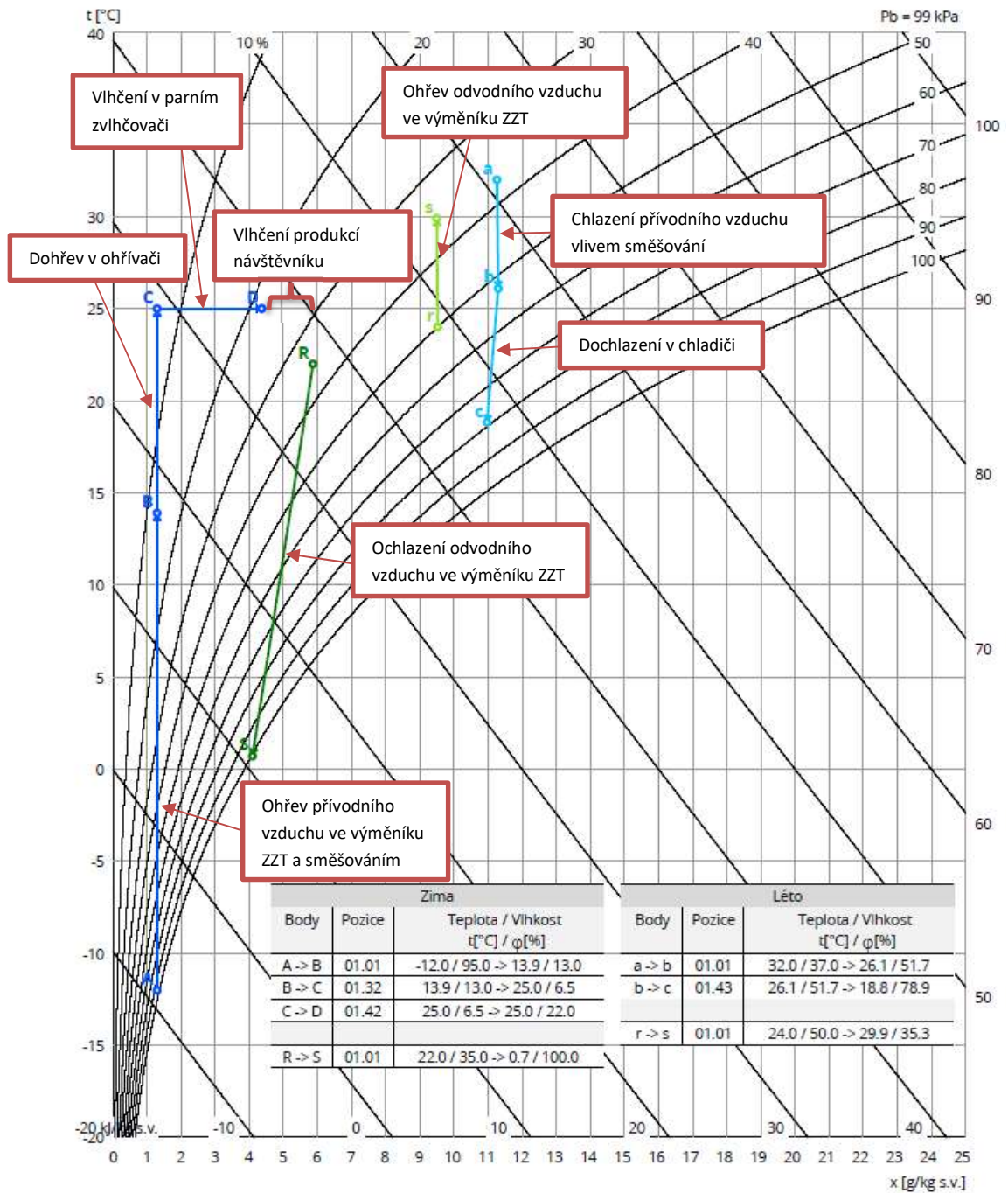


Půdorys přírodní větve



Půdorys odtahové větve





Obr. 31 H-X diagram pro zařízení č. 1

10.2 ZAŘÍZENÍ Č. 2

STRUČNÁ SPECIFIKACE ZAŘÍZENÍ

Základní parametry zařízení

Druh, rozměr AeroMaster XP 10
 Řídicí jednotka VCS (Climatix) Ne

Hmotnost (+/-10%) 2 067 kg
 Umístění VZT jednotky Venkovní včetně sčrřšky
 Materiálové provedení
 Vnější plášť Lakovaný plech (RAL 9002)
 Vnitřní plášť Pozinkovaný plech

	Prívod	Odvod
Průtok vzduchu	5200 m ³ /h	5200 m ³ /h
Externí tlaková rezerva	200 Pa	200 Pa
Rychlost v průřezu	2.08 m/s	2.08 m/s
Výkon motoru nominální	4.00 kW	4.00 kW
Typ motoru ventilátoru	AC motor	AC motor
Frekv. měnič součást dodávky	Ano (IP21)	Ano (IP21)
1. stupeň filtrace	M5 / ISO Coarse 80 %	M5 / ISO Coarse 80 %
2. stupeň filtrace	-	-
SFP _{AVU}	1411 W.m ³ .s	1279 W.m ³ .s

Model box AMXP3



Parametry pláště dle EN1886

Mechanická stabilita D2(M)
 Netěsnost skříně L2(M)
 Termická izolace T3(M)
 Faktor tepelných mostů TB3(M)
 Netěsnost mezi filtrem a rámem < 0,5 % (F9)

SFP_{AVU} 2690 W.m³.s

Nejdůležitější parametry vybraných komponentů

	Na straně vzduchu		Na straně média
Zpětný zisk tepla	-12.0 → 13.1 °C	74 %, 42.9 kW	
Ohřev	13.1 → 25.0 °C	20.8 kW	70/48 °C, Voda, 3.6 kPa, 0.84 m ³ /h, 1"
Chlazení	26.3 → 21.0 °C	9.6 kW	7/14 °C, Voda, 2.0 kPa, 1.12 m ³ /h, 1"
Vlhčení	25.0 → 25.0 °C	7 → 29 %	35.0 kg/h, 26.3 kW**

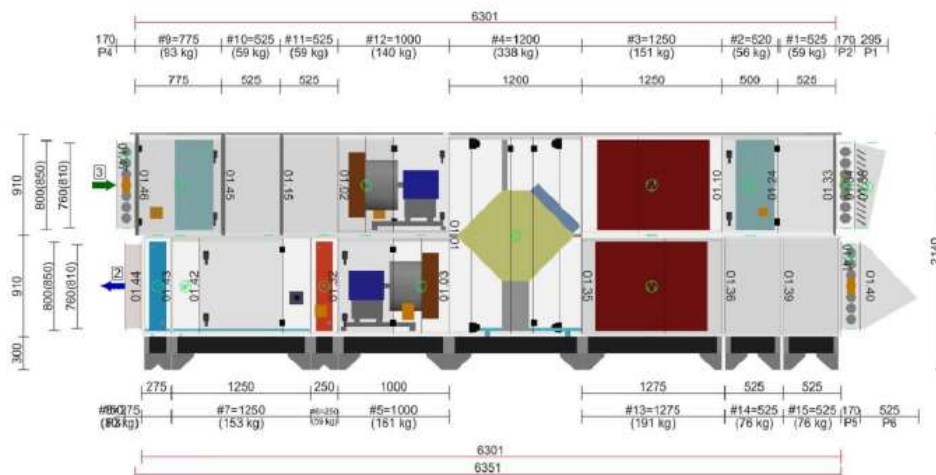
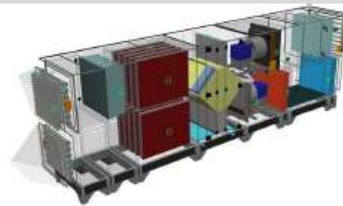
Detailní specifikace a výsledné parametry jsou součástí detailní specifikace vzduchotechnického zařízení

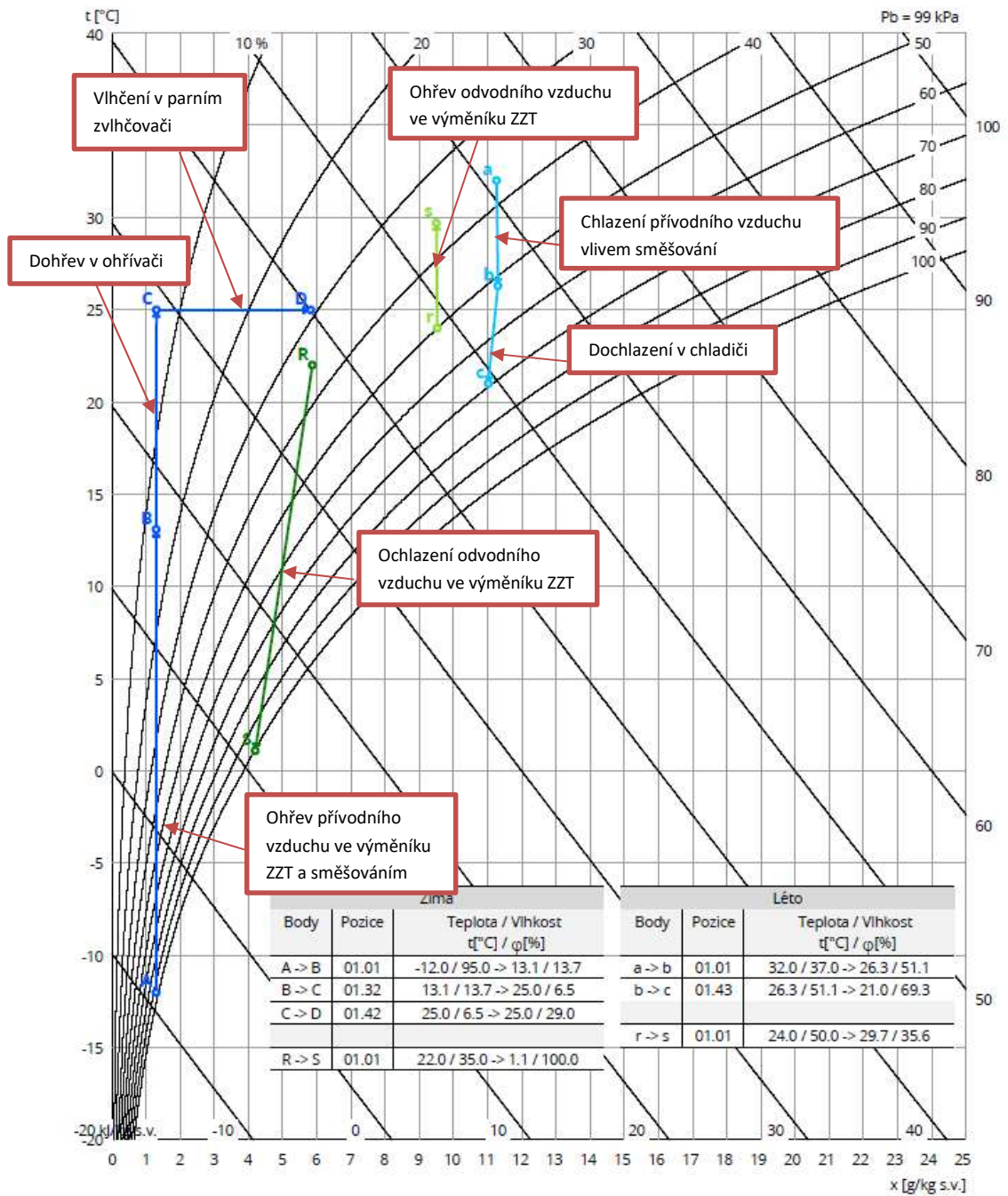
** Napájení a jištění zvlhčovače není řešeno z ŘJ VCS

Hlukové parametry zařízení

	LwAokt [dB]								ΣLwA [dB(A)]
Oktávové pásmo	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
Prívod - sání	34	38	48	36	20	12	17	20	49
Prívod - výtlak	46	54	73	75	84	75	69	64	85
Prívod - okolí	39	39	55	49	56	48	44	36	59
Odvod - sání	39	47	66	66	67	63	59	57	72
Odvod - výtlak	38	44	53	44	34	23	28	30	54
Odvod - okolí	38	38	53	48	54	47	44	36	58

Axonometrický pohled na zařízení





Obr. 32 H-X diagram pro zařízení č. 2

11 ÚTLUM HLUKU

Tab. 9 Útlum hluku na přívodní větvi

ozn.	ŠÍŘENÍ HLUKU OD VENTILÁTORU DO MÍSTNOSTI	Hladiny akustického tlaku a výkonu a útlumy v oktaóvých pásmech										PŘÍVOD			
		32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	součtová hladina		vypočet		
L_w	frekvence (Hz)														
	Hluk ventilátoru														
L_w	Hluk ventilátoru	0	50	59	77	80	82	76	73	73	86	podklady výrobce (Remak)			
	Vlastní hluk tlumiče	0	3	12	29	32	46	49	32	25	51	podklady výrobce			
K_s	Regulační klapka čtyřhranná	0	36	32	25	21	18	15	13	10	38	podklady výrobce			
K_s	Regulační klapka kruhová	0	32	28	22	18	15	13	10	7	34	podklady výrobce			
L_w	součet	5	50	59	77	80	82	76	73	73	86				
D_p	Přirozený útlum														
	Rovné potrubí	zanebráno z důvodu bezpečnosti výpočtu													
	Obtůuky	zanebráno z důvodu bezpečnosti výpočtu													
	Odbočka k výústce	4,48	4,48	4,48	4,48	4,48	4,48	4,48	4,48	4,48	4,48	Dle vzorce			
	Útlum koncovým odrazem	16,14	10,88	6,13	2,65	0,89	0,26	0,072	0,019	0,0054	Dle vzorce				
	útlum tlumiče hluku 1	10,7	13,3	18,1	29,3	26,8	29,1	24,8	16,2	13,2	400x300, L=1500 mm				
	útlum tlumiče hluku 2	10,7	13,3	18,1	29,3	26,8	29,1	24,8	16,2	13,2	400x300, L=1500 mm				
	útlum - sonofflex	3,15	5,25	9,45	12,25	10,15	7,7	5,6	7,35	4,2	Dle výrobce (Elektrodesign)				
L_{v1}	Hladina akustického výkonu ve výústce	0	12	12	0	20	20	25	38	47	38				
L_{vy}	Hladina akustického výkonu výústky											35			
K	Korekce na počet výústek											10			
L_s	Hladina akustického výkonu všech výústek											50			
Q	směrový činitel											2			
r	vzdálenost od výústky k posluchači											6			
A	pohltivá plocha místnosti											1080	pohltivost (-)	0,15	162
L_{s0}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače											34			
$L_{p,A}$	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti											40			

Tab. 10 Útlum hluku na odvodní větvi

ozn.	ŠÍŘENÍ HLUKU OD VENTILÁTORU DO MÍSTNOSTI	Hladiny akustického tlaku a výkonu a útlumy v oktaóvových pásmech										ODVOD
		32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	součtová hladina	
L_{wv}	frekvence (Hz)	Hluk ventilátoru										
L_{wv}	Hluk ventilátoru	0	43	46	63	56	56	50	50	47	65	podklady výrobce (Remak)
K_s	Vlastní hluk tlumiče	0	1	5	9	13	22	21	14	10	25	podklady výrobce
L_{wv}	Regulační klapka kruhová	0	32	28	22	18	15	13	10	7	34	podklady výrobce
	součet	5	43	46	63	56	56	50	50	47	65	
D_p		Přirozený útlum										
	Rovně potrubí	zanedbáno z důvodu bezpečnosti výpočtu										
	Oblouky											
	Odbočka k výústce											
	Útlum koncovým odrazem	18,23	12,86	7,82	3,75	1,38	0,42	0,12	0,03	0,008		Dle vzorce
	útlum tlumiče hluku 1	5,9	7,6	12,4	18,5	18,2	22	19,4	13,1	10,3		400x300, L=1500 mm
	útlum tlumiče hluku 2	5,9	7,6	12,4	18,5	18,2	22	19,4	13,1	10,3		400x300, L=1500 mm
	útlum - sonoflex	0	17,25	31,05	40,25	33,35	25,3	18,4	24,15	13,8		podklady výrobce (Elektrodesign)
L_{v1}	Hladina akustického výkonu ve výústce	0	6	0	1	3	8	12	13	23	17	
L_{wv}	Hladina akustického výkonu výústky											31
K	Korekce na počet výústek											10
L_s	Hladina akustického výkonu všech výústek											41
Q	směrový činitel											2
r	vzdálenost od výústky k posluchači											3,8
A	pohltivá plocha místnosti	plocha všech povrchů místnosti (m2)										162
L_{s0}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače											27
$L_{p,A}$	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti											40

11.1 VÝPOČET HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU VE VOLNÉM PROSTORU

Tento výpočet je proveden pro zařízení č. 1 vždy ve vzdálenosti 3 m a 5 m od zdroje hluku.

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} \right)$$

Kde

L_p hladina akustického tlaku ve volném prostoru

L_w hladina akustického výkonu ve výustce

Q směrový součinitel r vzdálenost od zdroje

r vzdálenost od zdroje hluku

• Přívod – sání

$$\text{Pro vzdálenost 3 m: } L_p = 48 + 10 \log \left(\frac{1}{4\pi 3^2} \right) = 27 \text{ dB}$$

$$\text{Pro vzdálenost 5 m: } L_p = 48 + 10 \log \left(\frac{1}{4\pi 5^2} \right) = 23 \text{ dB}$$

• Odvod – výtlač

$$\text{Pro vzdálenost 3 m: } L_p = 55 + 10 \log \left(\frac{1}{4\pi 3^2} \right) = 34 \text{ dB}$$

$$\text{Pro vzdálenost 5 m: } L_p = 55 + 10 \log \left(\frac{1}{4\pi 5^2} \right) = 30 \text{ dB}$$

Hladina akustické tlaku v exteriéru může nabývat přes den max. 50 dB a v noci max. 40 dB. Zařízení č. 1 bude spuštěno od 12 hod do 24 hod. Vzduchotechnická zařízení s tlumiči splňují stanovené limity hluku pro den i noc.

12 IZOLACE POTRUBÍ

Návrh tloušťky izolací byl proveden pomocí softwaru Teruna.

Tab. 11 Návrh izolací

KINOSÁL																
Vstupní údaje																
Popis potrubí	Umístění potrubí	t_o [°C]	Rho [%]	a [mm]	b [mm]	t_{ext} [°C]	RH [%]	Délka [mm]	V [m ³ /h]	λ [W/mK]	t_{po} [°C]	t_{to} [°C]	t_{pv} [°C]	tl [mm]	optimální tl. [mm]	
Přívod-externér-léto	venkovní	32	37	900	710	18	50	1000	11000	0,039	31,66	15,48	18,62	7,44	60	35
Přívod-externér-zima	venkovní	-12	95	900	710	28	35	1000	11000	0,039	-11,03	-12,57	26,21	11,12	60	50
Přívod-interiér-léto	podhled	24	50	900	560	18	50	1000	7700	0,039	22,61	12,94	18,32	7,44	40	25
Přívod-interiér-zima	podhled	22	35	900	560	28	35	1000	7700	0,039	23,39	5,85	27,68	11,12	40	40
Odvod-externér-léto	venkovní	32	37	1250	560	24	50	1000	11000	0,039	31,81	15,48	24,37	12,94	60	45
Odvod-externér-zima	venkovní	-12	95	1250	560	22	35	1000	11000	0,039	-11,18	-12,57	20,39	2,85	60	45

REŽIE																
Vstupní údaje																
Popis potrubí	Umístění potrubí	t_o [°C]	Rho [%]	a [mm]	b [mm]	t_{ext} [°C]	RH [%]	Délka [mm]	V [m ³ /h]	λ [W/mK]	t_{po} [°C]	t_{to} [°C]	t_{pv} [°C]	tl [mm]	optimální tl. [mm]	
Přívod-externér-léto	venkovní	32	37	710	710	21	50	1000	5200	0,039	31,73	15,48	21,54	10,19	60	40
Přívod-externér-zima	venkovní	-12	95	710	710	25	35	1000	5200	0,039	-11,11	-12,57	23,14	8,49	60	45
Přívod-interiér-léto	podhled	24	50	710	710	21	50	1000	5200	0,039	23,31	12,94	21,17	10,19	40	30
Přívod-interiér-zima	podhled	22	35	710	710	25	35	1000	5200	0,039	22,69	5,85	24,83	8,49	40	35
Odvod-externér-léto	venkovní	32	37	710	710	24	50	1000	5200	0,039	31,82	15,48	24,39	12,94	60	45
Odvod-externér-zima	venkovní	-12	95	710	710	22	35	1000	5200	0,039	-11,18	-12,57	20,29	5,85	60	40

Povrchová kondenzace a tepelná ztráta potrubí Popis: Prívod-exteriér-zima

Výpočet Vymazat Načíst Uložit Optimální tloušťka izolace - graf Tisk OK

$t_o(^{\circ}\text{C}) = -12$
 $\text{RH}_o(\%) = 95$

$a(\text{mm}) = 900$
 $b(\text{mm}) = 710$

$\text{tv}_{\text{vst}}(^{\circ}\text{C}) = 25$
 $\text{RH}(\%) = 35$

$\text{tv}_{\text{vst}}(^{\circ}\text{C}) = 24.98$
 $\text{D}(\text{mm}) = 0$

Délka(mm) = 1000

Hranaté potrubí Kruhové potrubí

$t_{\text{po}}(^{\circ}\text{C}) = -11.1$
 $t_{\text{ro}}(^{\circ}\text{C}) = -12.57$ **riziko námrazy**
 $t_{\text{pv}}(^{\circ}\text{C}) = 23.34$
 $t_{\text{rv}}(^{\circ}\text{C}) = 8.49$

$l(\text{mm}) = 60$

Průtok vzduchu [m³/h]: 11000
 Tepelná vodivost izolace [W/mK]: 0.039

Potrubí je situováno v prostředí:

- Bez pohybu vzduchu okolo potrubí (podhled)
- S mírným pohybem vzduchu (místnost)
- Venkovním [povětrnostní vlivy]

Tepelná ztráta /+zisk/ úseku potrubí [W]: -88.65

Obr. 33 Návrh izolací v programu Teruna



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

ČÁST C – PROJEKTOVÁ ČÁST

VZDUCHOTECHNIKA V MULTIFUNKČNÍM CENTRU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Leona Svobodová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2020

1 TECHNICKÁ ZPRÁVA

1 TECHNICKÁ ZPRÁVA

1.1 ÚVOD

Předmětem této projektové dokumentace pro provádění stavby je návrh teplo-vzdušného vytápění kinosálu a teplovzdušného větrání režie. Návrh zajišťuje, aby byly splněny předepsané hodnoty hygienických výměn vzduchu a pohody prostředí ve vybraných místnostech objektu. Technická zpráva doplňuje výkresy o potřebné údaje, které se ve výkresech neuvádějí. Při montáži je nutné zohlednit jak údaje v technické zprávě, tak výkresy.

1.2 PODKLADY PRO ZPRACOVÁNÍ

Podkladem pro zpracování byla projektová dokumentace stavební části ve stupni pro povolení stavby a následující vyhlášky, české normy a podklady výrobců jednotlivých zařízení:

- ČSN 730540-1 Tepelná ochrana budov – část 1: Terminologie ČSN 730540-2
- Tepelná ochrana budov – část 2: Požadavky ČSN 730540-3
- Tepelná ochrana budov – část 3: Návrhové hodnoty veličin ČSN 730548
- Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů
- ČSN EN 1505 Větrání budov – Kovové plechové potrubí a armatury pravoúhlého průřezu – rozměry
- ČSN EN 1507 Větrání budov – Kovové plechové potrubí pravoúhlého průřezu – požadavky na pevnost a těsnost
- ČSN 12 7010/Z1 Vzduchotechnická zařízení – Navrhování větracích a klimatických zařízení – Obecná ustanovení
- ČSN 73 0872 - Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízení (1996)
- Nařízení vlády č. 217/2016 Sb., kterými se mění nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb
- Návrhový software Teruna
- Remak a.s. – podklady výrobce, návrhový program AeroCAD
- Trox, a.s. – podklady výrobce
- Systemair, a.s. – podklady výrobce
- Elektrodesign Ventilátory spol. s.r.o – podklady výrobce

1.3 VÝPOČTOVÉ HODNOTY KLIMATICKÝCH POMĚRŮ

- Místo Brno
- Nadmořská výška 235 m.n.m.
- Normální tlak vzduchu 99 kPa
- Výpočtová teplota vzduchu léto: +32 °C, zima: -12 °C
- Entalpie léto: 60,5 kJ/kg s.v.

1.4 VÝPOČTOVÉ HODNOTY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

Výsledná teplota v kinosále i v místnosti režie je uvažována v létě 24 °C a v zimě 22 °C. Vlhkost vzduchu je v létě řízena na 50 % a v zimě na 35 %. Hladina akustické tlaku v kinosálech a divadelních sálech může nabývat maximálně 40 dB. V exteriéru přes den max. 50 dB a v noci max. 40 dB.

2 ZÁKLADNÍ KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

Předmětem projektové dokumentace je třípodlažní multifunkční centrum v Brně. Řešenou částí je multifunkční sál s jevištěm, který lze používat jako kinosál i jako divadelní sál a místnost režie, ze které je umožněno promítání filmu. Multifunkční sál má kapacitu 320 lidí. V místnosti režie působí zvukař, 2 tlumiči a promítač. Při koncepčním řešení byl prostor rozdělen na dva funkční celky.

Zařízení č. 1 – multifunkční sál (teplovzdušné vytápění)

Zařízení č. 2 – režie (teplovzdušné větrání)

Jedná se o nucené větrání prostorů, které nejde větrat přirozeně okny z důvodu jejich charakteru. Strojovna je umístěna na střeše objektu. VZT jednotky obou zařízení zajišťují jednostupňovou filtraci čerstvého vzduchu, útlum hluku, rekuperaci pomocí deskového výměníku s kříženým prouděním vzduchu, ohřev, vlhčení i chlazení vzduchu. VZT jednotky budou ve vnějším provedení včetně stříšky, opláštěné lakovaným plechem. Součástí jejich dodávky bude základový rám výšky 300 mm. Sání a výtlač budou situovány tak, aby nedošlo k zpětnému nasátí znehodnoceného odvodního vzduchu.

Pro distribuci filtrovaného, tepelně a vlhkostně upraveného vzduchu a pro odvod znehodnoceného vzduchu bude navrženo čtyřhranné potrubí z pozinkovaného ocelového plechu. Koncové elementy budou připojeny pomocí kruhového, ohebného, zvukově izolačního SPIRO potrubí. Jako koncové elementy budou použity vířivé anemostaty na přívodu a anemostaty na odvodu. Na odbočkách čtyřhranné-

ho potrubí k distribučním prvkům budou osazeny regulační klapky, které slouží k regulaci průtoku vzduchu. Systém větrání a klimatizace bude navržen v obou zařízeních rovnotlaký.

2.1 HYGIENICKÉ VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE

Hygienické větrání bude navrženo v úrovni nejméně hygienického minima ve smyslu obecně závazných předpisů. Zařízení č. 1 bude vytápěno pomocí VZT jednotky. V zařízení č. 2 budou osazena otopná tělesa, která budou prostor vytápět v zimním období a pokryjí tak tepelné ztráty.

Uvažované dávky čerstvého vzduchu:

- Zařízení č.1 35 m³/os*h
- Zařízení č.2 30 m³/os*h

2.2 ENERGETICKÉ ZDROJE

2.2.1 ELEKTRICKÁ ENERGIE

Elektrická energie je uvažována pro pohon elektromotorů VZT jednotek.

2.2.2 TEPELNÁ ENERGIE

K ohřevu vody v tepelném výměníku VZT jednotky bude sloužit topná voda, která má teplotní spád 70/50 °C. K chlazení vody bude sloužit studená voda teplotního spádu 7/13 °C. Rozvody topné a studené vody zajistí profese ÚT a chlazení.

3 POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ

3.1 ZAŘÍZENÍ Č. 1 - TEPELVZDUŠNÉ VYTÁPĚNÍ MULTIFUNKČNÍHO SÁLU

Zařízení č. 1 obsluhuje multifunkční sál a jeviště. Pro toto zařízení byla navržena vzduchotechnická jednotka Remak AeroMaster XP 17. VZT jednotka přivádí upravený vzduch do rovnotlakého systému, přívod i odvod vzduchu je 11 000 m³. Regulace potřebného množství vzduchu proběhne pomocí tzv. Prandtlovi trubice, kterou zajistí profese VZT.

Navržená VZT jednotka bude položena na střeše na betonovém základu. Bude pokryta lakovaným plechem, stříškou pro venkovní provedení a ocelovým rámem se stavitelnými nohama výšky 300 mm. Zajišťuje jednostupňovou filtraci M5 venkovního vzduchu (ISO Coarse 80), útlum hluku kulisovým tlumičem, který je tvořen profilovaným rámem z pozinkovaného plechu a absorpční výplní z nehořlavého zvukoi-

zolačního materiálu, dále rekuperaci vzduchu pomocí protiproudého deskového rekuperátoru, v zimě zajišťuje ohřev vzduchu pomocí vodního ohříváče (spád 70/50 °C), v létě chlazení vzduchu pomocí vodního chladiče, který má v dolním panelu integrovanou nerezovou vanu s trubkou zakončenou šroubením pro odvod kondenzátu (spád 7/13 °C). Teplonosnou látkou bude 35 % ethylenglykol. VZT jednotka také upravuje vzduch pomocí elektrodového parního zvlhčovače, který obsahuje soupravu pro odvod kondenzátu. Na přívodu i odvodu jsou osazeny tlumičí vložky a protidešťové žaluzie. Z důvodu zamezení šíření hluku od ventilátorů s volně oběžným kolem a přímým pohonem je přívodní i odvodní potrubí doplněno jádrovým tlumičem hluku JTH délky 1500 mm.

Distribuce vzduchu bude řešena čtyřhranným potrubím, které přechází v ohebné kruhové potrubí SONOFLEX. Potrubí jsou umístěna v podhledu multifunkčního sálu a jeviště.

Přívodní potrubí bude zaizolováno tvrzenou tepelnou izolací, a to v exteriéru tl. 60 mm a v interiéru tl. 40 mm. Izolace zamezí při vyšších teplotách kondenzaci vodní páry, zajišťuje z části přirozený útlum hluku a má protipožární odolnost.

V místě prostupu čtyřhranného potrubí střechou, kde je rozhraní dvou požárních úseků, bude osazena požární klapka, která bude utěsněna certifikovanou požární ucpávkou a tmelem.

Množství přiváděného vzduchu je nad hranicí hygienického minima. V letním období bude přiváděn vzduch o teplotě 18 °C, který zajistí výslednou teplotu vzduchu 24 °C a pokryje tak tepelnou zátěž. V zimním období je navržen přívod vzduchu o teplotě 25 °C, který pokryje tepelné ztráty a prostor dosáhne teploty 22 °C.

Regulaci systému rovnotlakého větrání zajistí profese MaR. Do odvodního potrubí bude profesí Profese MaR umístěno teplotní čidlo z důvodu ověření správné teploty v prostorách.

Umístění jednotky na střechu objektu multifunkčního centra bude zajištěn pomocí jeřábu. Transport bude proveden v souladu s BOZP.

3.2 ZAŘÍZENÍ Č. 2 – TEPLOVZDUŠNÉ VĚTRÁNÍ MÍSTNOSTI REŽIE

Zařízení č. 2 obsluhuje místnost režie. Pro toto zařízení byla navržena vzduchotechnická jednotka Remak AeroMaster XP 10. VZT jednotka přivádí upravený vzduch do rovnotlakého systému, přívod i odvod vzduchu je 5 200 m³. Regulace potřebného množství vzduchu proběhne pomocí tzv. Prandtlovi trubice, kterou zajistí profese VZT.

Navržená VZT jednotka bude položena na střeše na betonovém základu. Bude pokryta lakovaným plechem, stříškou pro venkovní provedení a ocelovým rámem se stavitelnými nohama výšky 300 mm. Zajišťuje jednostupňovou filtraci M5 venkovního vzduchu (ISO Coarse 80), útlum hluku kulisovým tlumičem, který je tvořen profilovaným rámem z pozinkovaného plechu a absorpční výplní z nehořlavého zvukoisolačního materiálu, dále rekuperaci vzduchu pomocí protiproudého deskového rekuperátoru, v zimě zajišťuje ohřev vzduchu pomocí vodního ohříváče (spád 70/50 °C), v létě chlazení vzduchu pomocí vodního chladiče, který má v dolním panelu integrovanou nerezovou vanu s trubicí zakončenou šroubením pro odvod kondenzátu (spád 7/13 °C). Teplonosnou látkou bude 35% ethylenglykol. VZT jednotka také upravuje vzduch pomocí elektrodového parního zvlhčovače, který obsahuje soupravu pro odvod kondenzátu. Na přívodu i odvodu jsou osazeny tlumící vložky a protidešťové žaluzie.

V místě prostupu čtyřhranného potrubí střechou, kde je rozhraní dvou požárních úseků, bude osazena požární klapka, která bude utěsněna certifikovanou požární ucpávkou a tmelem.

Množství přiváděného vzduchu je nad hranicí hygienického minima. Dle vyhlášky 6/2003 Sb. bude docházet k výměně vzduchu 15 % z celkového objemu vzduchu (750 m³) a zbylý vzduch (4450 m³) bude cirkulovat.

V letním období bude přiváděn vzduch o teplotě 21 °C, který zajistí výslednou teplotu vzduchu 24 °C a pokryje tak tepelnou zátěž. V zimním období je navržen přívod vzduchu o teplotě 25 °C, který pokryje tepelné ztráty a prostor dosáhne teploty 22 °C.

Regulaci systému rovnotlakého větrání zajistí profese MaR. Do odvodního potrubí bude profesí Profese MaR umístěno teplotní čidlo z důvodu ověřování správné teploty v prostorách.

Umístění jednotky na střechu objektu multifunkčního centra bude zajištěn pomocí jeřábu. Transport bude proveden v souladu s BOZP.

3.3 NÁROKY NA ENERGII

Je nutné zabezpečit elektrickou energii, která bude pohánět elektromotory ventilátorů, čerpadel a regulačních klapek.

4 MĚŘENÍ A REGULACE, PROTIMRAZOVÁ OCHRANA

Koncept VZT jednotek neobsahuje vlastní prvky měření a regulace ani protimrazovou ochranu. Navržené vzduchotechnické jednotky budou řízené a regulované pomocí MaR:

- Řízení chodu ventilátorů
- Regulace teploty vzduchu pomocí řízení výkonu teplovodního ohřívače směřováním v zimním období
- Regulace teploty vzduchu pomocí řízení výkonu vodního chladiče v letním období
- Řízení výměny vzduchu pomocí čidel teplotních, vlhkostních a čidel na koncentraci oxidu uhličitého ve vzduchu
- Řízení uzavíracích klapek na jednotce pomocí servopohonu
- Ovládání regulačních klapek pomocí servopohonu
- Regulace účinnosti deskového výměníku
- Signalizace správného chodu ventilátorů pomocí diferenčního snímače tlaku
- Regulace cirkulační klapky řídící směšovací poměr na obtoku deskového výměníku
- Protimrazová ochrana teplovodního výměníku – měření na straně vody i vzduchu
- Signalizace znečištění filtrů
- Signalizace závady
- Kontrola signalizace chodu, poruchy a zapnutí a vypnutí zdroje chladu

5 NÁROKY NA SOUVISEJÍCÍ PROFESE

5.1 STAVEBNÍ ÚPRAVY

- Otvory pro prostupy vzduchovodů včetně zapravení a odklizení sutě
- SDK podhledy
- Dotěsnění a oplechování prostupů střešní konstrukcí
- Případná vizuální úprava VZT jednotky (nátěr, oplechování) dle požadavků architekta
- Zřízení revizních otvorů v nerozebíratelných částech podhledu umožňující dostupnost k distribučním prvkům, regulačním a požárním klapkám
- Zhotovení betonového základu pro položení VZT jednotek na střeše objektu

5.2 SILNOPROUD

- Připojení vzduchotechnické jednotky na elektrickou energii
- Silové napojení rozvaděče MaR

- Umístění jímací tyče pro ochranu VZT jednotek proti zasažení bleskem a uzemnění VZT jednotek včetně potrubí
- Silové napojení elektrodových parních vyvíječů

5.3 ZTI

- Kondenzát z parního zvlhčovače, chladiče a deskového výměníku vzduchotechnických jednotek bude odveden přes zápachovou uzávěrku do kanalizačního potrubí

5.4 ÚT

- Ohřívač centrálních VZT jednotek bude připojen na topnou vodu, včetně příslušného směšovacího okruhu, spád 70/50 °C
- Dodání a zapojení otopných těles pro vytápění zařízení č. 2

6 PROTIHLUKOVÁ A PROTIOTŘESOVÁ OPATŘENÍ

Do rozvodných tras potrubí budou vloženy buňkové tlumiče hluku, které zabrání nadměrnému šíření hluku od ventilátorů do větraných místností. Tlumiče budou součástí přívodního i odvodního potrubí, jejich rozměr bude podle výpočtu. Za účelem zamezení přenosu vibrací do stavebních konstrukcí budou veškeré točivé stroje (ventilátory, jednotky) podloženy rýhovanou gumou. Všechny vzduchovody budou napojeny na ventilátory přes tlumící vložky nebo SONOFLEX. Rám vzduchotechnické jednotky bude umístěn na gumových podložkách. Potrubí bude na závěsech podloženo tlumící gumou. Vzduchotechnické jednotky jsou opatřeny tlumící vložkami v místě napojení vzduchovodů. Prostupy stavebními konstrukcemi budou oplechovány a dotěsněny izolací.

7 IZOLACE A NÁTĚRY

Veškeré přívodní čtyřhranné potrubí bude v interiéru opatřeno tepelnou izolací tloušťky 40 mm, v exteriéru 60 mm. Potrubí bude na prostupu střešní konstrukcí opatřeno protipožární izolací. Izolace zajistí, aby nedošlo ke kondenzaci vodních par, omezí ztráty tepla v zimním období a chladu v letním období a zredukuje šíření hluku do okolního prostředí. Nátěry vzduchovodů nejsou uvažovány. Bude použita tvrzená, nenasákavá tepelná izolace o tloušťce 40 a 60 mm se součinitelem tepelné vodivosti 0,039 W/m²K. Materiál tvrzené izolace zabrání zmenšení tloušťky izolace při montáži. Nenasákavost izolace zajistí hydrofobizovaný materiál.

8 PROTIPOŽÁRNÍ OPATŘENÍ

Vzduchovody procházející střešní konstrukcí budou osezeny protipožárními klapkami, které budou utěsněny certifikovanou požární ucpávkou a tmelem. Protipožární klapky budou opatřeny automatickým spuštěním na signál z EPS. Při detekci kouře bude klapka automaticky uzavřena a vzduchotechnická jednotka bude vypnuta. Ke klapkám bude zajištěn servisní přístup. Potrubí bude v místě prostupu izolováno protipožární izolací.

9 MONTÁŽ, PROVOZ, ÚDRŽBA A OBSLUHA ZAŘÍZENÍ

- Montáž bude prováděna dle pokynů uvedených v podkladech výrobce a dodavatele zařízení
- Všechna zařízení budou při montáži vyzkoušena a zaregulována
- Montáž VZT potrubí bude uskutečněna před ostatními profesemi z důvodu prostorových požadavků
- Pomocí Prandtlovy trubice budou nastaveny požadované průtoky vzduchu, a to na centrálním vzduchovodu. Prandtlova (Pitotova) trubice funguje na principu měření rychlosti média, kterou převádí na tlak.
- VZT jednotky budou položeny na podložkách z rýhované gumy
- Spodní hrana potrubí uvedená na výkresech je uvažována od čisté podlahy
- VZT zařízení budou průběžně kontrolována a čištěna. Okolí zařízení bude čisté a přístupné pro kontrolu. Profese MaR bude kontrolovat zanášení jednotlivých stupňů filtrace, které se provádí měřením tlakové diference filtru.
- Navržená VZT zařízení budou řízena a regulována samostatným systémem MaR. Údržbu a provoz zařízení budou vykonávat techničtí pracovníci, kteří musí být řádně proškoleni.

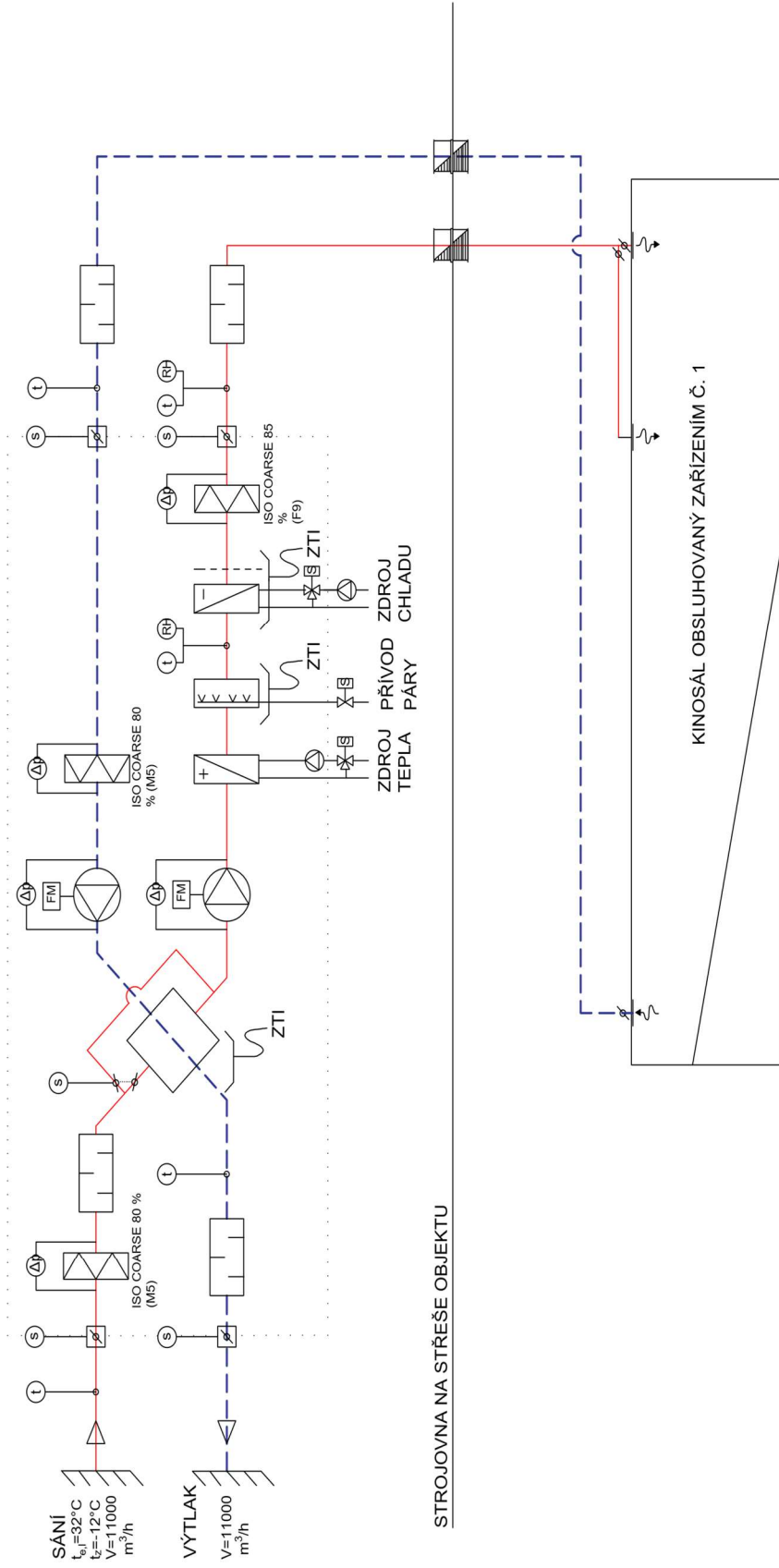
10 ZÁVĚR

Navržené větrací a klimatizační zařízení plní nároky na provoz daného typu prostoru a celoročně zabezpečí pohodu prostředí danou hygienickými předpisy při zabezpečení maximální hospodárnosti provozu těchto zařízení.

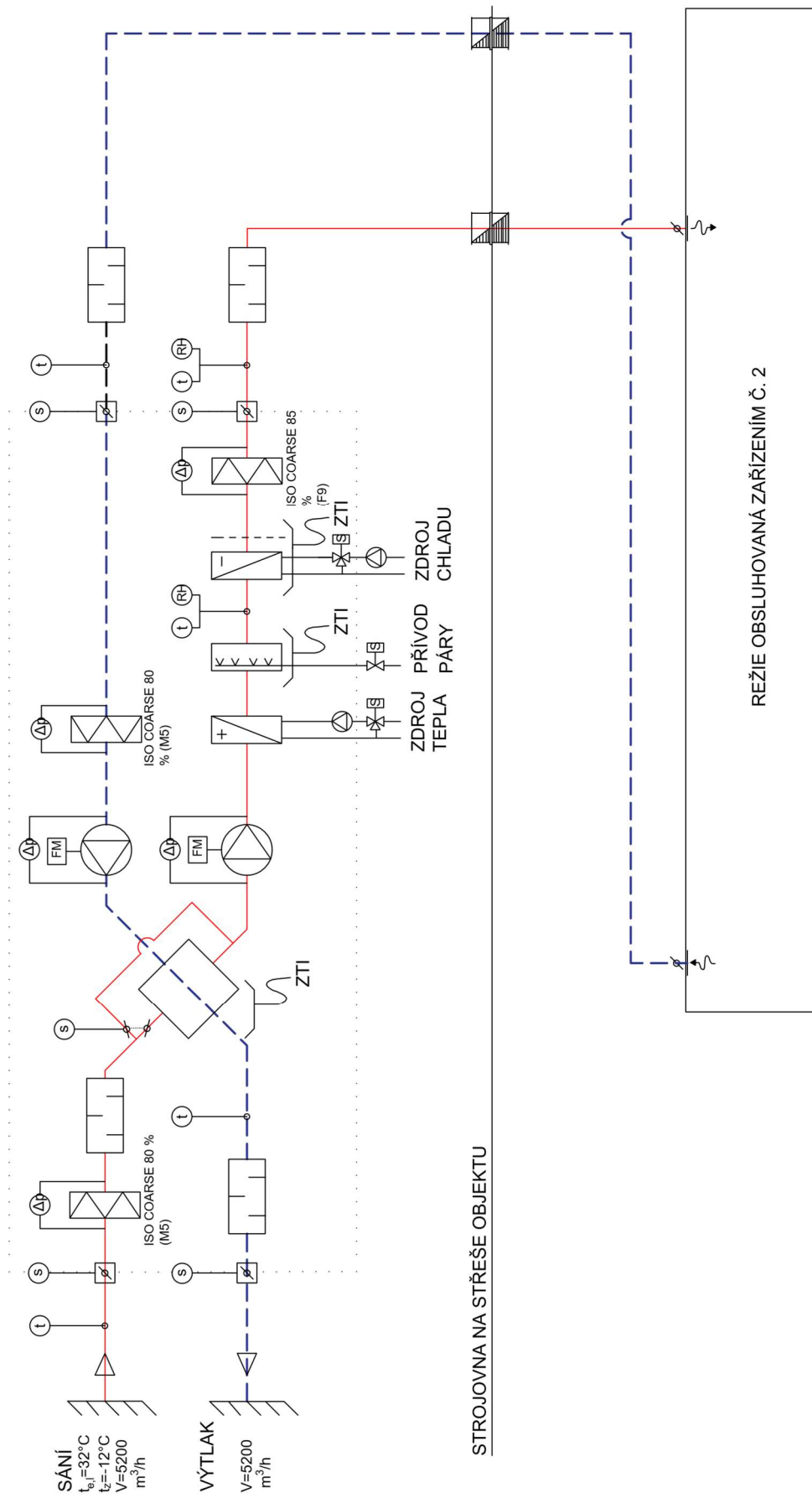
2 PŘÍLOHY TECHNICKÉ ZPRÁVY

2.1 FUNKČNÍ SCHÉMATA

FUNKČNÍ SCHÉMA - ZAŘÍZENÍ Č. 1



FUNKČNÍ SCHÉMA - ZAŘÍZENÍ Č. 2



2.2 SPECIFIKACE PRVKŮ

Č. pozice	Specifikace položky (popis)	Měrná jednotka	Množství
	Zařízení č. 1 - teplovzdušné vytápění kinosálu		
1.01	Centrální jednotka pro přívod a odvod vzduchu REMAK AeroMaster XP 17 Vnější plášť z lakovaného plechu, vnitřní část z pozinkovaného plechu. technické parametry pláště dle EN 1886 D2, T2, T3, TB3, Část přívodu: venkovní žaluzie, uzavírací klapka, sekce filtru, sekce tlumiče hluku, sekce deskového rekuperátoru, sekce ventilátoru, sekce ohřivače, sekce zvlhčovače, sekce chladiče, tlumící vložka	ks	1
1.02	Část odvodu: uzavírací klapka, sekce filtru, sekce ventilátoru, sekce deskového rekuperátoru, sekce tlumiče hluku, uzavírací klapka, venkovní žaluzie Tlumič hluku buňkový 400x300, délka 1500 mm (3 buňky)	ks	4
1.03	Regulační klapka čtyřhranná těsná, 800x355	ks	1
1.04	Regulační klapka čtyřhranná těsná, 900x560	ks	2
1.05	Regulační klapka těsná, d=315, ovládání ruční	ks	20
1.06	Vířivý anemostat čtvercový, přívodní, horizontální připojení, rozměr 600x600x550, včetně přípojovací krabice	ks	10
1.07	Stropní anemostat čtvercový, odvodní, horizontální připojení, rozměr 600x600x420 včetně přípojovací krabice	ks	10
1.08	Ohebná hadice zvukově izolační d=315	bm	30
1.09	Čtyřhranné ocelové potrubí sk. I třídy těsnosti B	m ²	231
1.10	Tvrzená nenasákavá protihluková izolace tl. 40 mm s Al popelem, přelepení spojů Al páskou	m ²	66
1.11	Tvrzená nenasákavá protihluková izolace tl. 60 mm s Al popelem, přelepení spojů Al páskou	m ²	42
1.12-1.99	Neobsazeno		
1.100	Požární klapka čtyřhranná s atestem, odolnost 90 min., 900x800	ks	1
1.101	Požární klapka čtyřhranná s atestem, odolnost 90 min., 1250x560	ks	1
1.102-1.999	Neobsazeno		

ZÁVĚR

Výsledkem bakalářské práce je projektová dokumentace vzduchotechnického zařízení pro multifunkční sál a přilehlou místnost režie. Projekt řeší teplovzdušné vytápění multifunkčního sálu a teplovzdušné větrání místnosti režie. Zařízení splňují všechny funkční, provozní a hygienické požadavky na daný typ a charakter prostoru dle platných norem.

4 POUŽITÉ ZDROJE

[1] GEBAUER, Günter, Helena HORKÁ a Olga RUBINOVÁ. *Vzduchotechnika*. 2. vydání. Brno: Era – vydavatelství, 2007. ISBN 978-80-7366-091-8.

[2] Zpětné získávání tepla ve vzduchotechnice. In: *Technika prostředí* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.qpro.cz/ZZT-rekuperace-regenerace>

[3] Zpětné získávání tepla a chladu ve vzduchotechnice. *Katedra technických zařízení budov* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esbt/prednasky/125esb2-09.pdf>

[4] TZB – Vzduchotechnika. *Lences* [online]. BRNO: VUT BRNO [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BT02-TZB%20III/M09-Zpetne%20ziskavani%20tepla.pdf>

[5] Zpětné získávání tepla a větrání objektu. *TZB INFO* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/6325-zpetne-ziskavani-tepla-a-vetrani-objektu>

[6] Vliv větracího systému s entalpickým výměníkem na interiérové mikroklima. *TZB INFO* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/14333-vliv-vetraciho-systemu-s-entalpickym-vymenikem-na-interierove-mikroklima>

[7] Vliv větracího systému s entalpickým výměníkem na interiérové mikroklima. *TZB INFO* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/15795-moderni-rotacni-vymeniky-tepla>

[8] Výměníky tepla, tepelné trubice. *TZB INFO* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/3688-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-ii>

[9] Energetické systémy zpětného získávání tepla z větracího vzduchu. *Katedra technických zařízení budov* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/tz30/prednasky/tz30-10.pdf>

[10] Tepelná čerpadla. *TZB INFO* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla>

[11] SPECIFIKACE TEPELNÝCH ČERPADEL PRO VYUŽITÍ V TZB. Tepelná čerpadla. *Časopis stavebnictví* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z:

https://www.casopisstavebnictvi.cz/specifikace-tepelnych-cerpadel-pro-vyuziti-v-tzb_A517_I11-12_07

[12] Zpětné získávání tepla. In: *Wikipedia* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Zp%C4%9Btn%C3%A9_z%C3%ADsk%C3%A1v%C3%A1n%C3%AD_tepla#Vyu%C5%BEit%C3%AD_rekuperace_v_rodinn%C3%A9m_dom%C4%9B

[13] Princip rekuperace. *PREměření* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.premereni.cz/cs/sluzby/vytapeni/rekuperace/princip-rekuperace/>

[14] Entalpický membránový výměník. *WAFE* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.wafe.eu/clanek/entalpicky-membranovy-vymenik>

[15] Lamelové výměníky. *CIAT* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <http://www.ciat.cz/vymeniky-tepla/lamelove-vymeniky>

[16] Technické podmínky pro rotační výměníky. *KASTT* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://kastt.cz/wp-content/uploads/2018/05/TECHNICKE_PODMINKY_RV_2017_v1.0.pdf

[17] RUBINA, Aleš, *Vzduchotechnika*, [podklady do cvičení] cvic03, VUT Brno

[18] REMAK [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: www.remak.eu/cs

[19] TROX [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: www.trox.cz

[20] *ELEKTRODESIGN* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: www.elektrodesign.cz

5 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Princip zpětného získávání tepla	14
Obr. 2 Přenos tepelného toku	15
Obr. 3 Deskový výměník a schéma tepelných výměn	18
Obr. 4 Schéma tepelné trubice.....	19
Obr. 5 Schéma vertikální tepelné trubice, osazení v jednotce a tepelné výměny....	19
Obr. 6 Lamelový výměník	20
Obr. 7 Schéma zařízení s kapalinovým okruhem a lamelovými výměníky.....	21
Obr. 8 Princip entalpického výměníku.....	22
Obr. 9 Čištění entalpického výměníku	23
Obr. 10 Princip rotačního výměníku	23
Obr. 11 Graf závislosti tepelné účinnosti na otáčkách rotoru RV	24
Obr. 12 Schéma přepínacího výměníku.....	25
Obr. 13 Princip fungování tepelného čerpadla	26
Obr. 14 Rozdělení na funkční celky	30
Obr. 15 Skladby konstrukcí v půdoryse	31
Obr. 16 Skladby konstrukcí v řezu.....	31
Obr. 17 Průběh teplot v letním období.....	37
Obr. 18 Tepelná zátěž v letním období.....	38
Obr. 19 Průběh teplot v zimním období.....	38
Obr. 20 Tepelná zátěž v zimním období	39
Obr. 21 Průběh teplot v letním období.....	40
Obr. 22 Tepelná zátěž v letním období.....	40
Obr. 23 Průběh teplot v zimním období.....	40
Obr. 24 Tepelná zátěž v zimním období	41
Obr. 25 Tlakové poměry.....	42
Obr. 26 Vířivý anemostat	43
Obr. 27 Tlaková ztráta a akustický výkon	43
Obr. 28 Stropní anemostat	44
Obr. 29 Tlaková ztráta a akustický výkon	44
Obr. 30 Schéma dimenzování potrubí.....	45
Obr. 31 H-X diagram pro zařízení č. 1	49
Obr. 32 H-X diagram pro zařízení č. 2.....	51
Obr. 33 Návrh izolací v programu Teruna	56

6 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Klimatické údaje stavby	30
Tab. 2 Požadavky na vnitřní prostředí.....	31
Tab. 3 Výpočet součinitelů prostupu tepla	32
Tab. 4 Výpočet tepelných ztrát.....	35
Tab. 5 Legenda místností	36
Tab. 6 Parametry přívodního elementu	43
Tab. 7 Parametry odvodního elementu	44
Tab. 8 Dimenzace potrubí	46
Tab. 9 Útlum hluku na přívodní větvi	52
Tab. 10 Útlum hluku na odvodní větvi	53
Tab. 11 Návrh izolací.....	55

7 SEZNAM POUŽITÝCH PROGRAMŮ

[1] Teruna v1.5b: Modelování mikroklíma a navrhování vzduchotechniky

[2] AeroCAD v6.5.53 společnosti REMAK a.s.: Návrh vzduchotechnických jednotek

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ZZT	zpětné získávání tepla	
Q	tepelný tok	[W]
V	objem	[m ³]
c	měrná tepelná kapacita	[J/kgK]
ρ	objemová hmotnost	[m ³ /kg]
h	měrná entalpie	[J/kg]
d	tloušťka	[m]

λ	součinitel tepelné vodivosti	[W/mK]
R	tepelný odpor	[m ² K/W]
R _{si}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	[m ² K/W]
R _{se}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	[m ² K/W]
U	součinitel prostupu tepla	[W/m ² K]
U _{rec,20}	doporučená hodnota součinitele prostupu tepla	[W/m ² K]