



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

KLIMATIZACE UČEBEN A KANCELÁŘÍ

AIR-CONDITIONING OF LECTURE ROOMS AND OFFICES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAROSLAV BEČVÁŘ

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. EVA JANOTKOVÁ, CSc.

BRNO 2008

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Jaroslav Bečvář
Bytem: Labská Kotlina 1004, 50002, Hradec Králové
Narozen/a (datum a místo): 4.1.1984, Hradec Králové

(dále jen "autor")

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta strojního inženýrství
se sídlem Technická 2896/2, 61669 FSI VUT v Brně
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
Doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.

(dále jen "nabyvatel")

Článek 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☒ diplomová práce
- ☐ bakalářská práce

jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Klimatizace učeben a kanceláří

Vedoucí/školicel VŠKP: doc. Ing. Eva Janotková, CSc.

Ústav: Energetický ústav

Datum obhajoby VŠKP: 17.6.2008

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- ☐ tištěné formě - počet exemplářů 2
- ☐ elektronické formě - počet exemplářů 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

ABSTRAKT

Diplomová práce se skládá ze dvou částí. První část je teoretickým přehledem. Rozebírá základní úkoly klimatizace a zabývá se používanými klimatizačními zařízeními. Hluběji se věnuje chladivovým klimatizačním systémům a klimatizaci pro elektronická zařízení. V druhé části je zpracován návrh split systému pro klimatizování prostor kanceláří a učeben a jednotek pro klimatizaci místností clusteru a serveru. Návrh vychází z výpočtu tepelné zátěže klimatizovaných prostor. Je provedena kalkulace ceny klimatizačního systému a porovnání nabídek několika dostupných dodavatelů. Součástí diplomové práce je zpracovaná výkresová dokumentace návrhu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Klimatizace, chladivový systém, split systém, přesná klimatizace, tepelná zátěž

ABSTRACT

The diploma thesis is consisting of two parts. Forepart is a theoretic survey. It construes basic office of the air conditioning and deal with used air conditioner arrangements. More deeply it deals with air conditioner systems with refrigerant and the air conditioning for electronic equipments. Project of split system for air conditioning lecture rooms and schoolrooms, and units for air conditioning rooms with cluster and server is processed in the second part. Project is derives from calculation thermal stress of air conditioned space. There is calculated price of air conditioner system and made comparison offers of several accessible suppliers. Elaboration drawing documentation of project is part of the diploma thesis.

KEYWORDS

Air conditioning, refrigerant-based system, split system, close-controlled air conditioning, heat load

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BEČVÁŘ, J. *Klimatizace učeben a kanceláří*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008, 59 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Eva Janotková, CSc.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tuto diplomovou práci jsem vypracoval samostatně bez cizí pomoci.
Při tom jsem vycházel ze svých znalostí, odborných konzultací a literatury.

V Brně dne 20. května 2008

.....
Podpis

Poděkování

Děkuji vedoucí mé diplomové práce doc. Ing. Evě Janotkové, CSc. za náměty, připomínky a odborné konzultace. Také děkuji za ochotu a věnovaný čas Ing. Martině Hánové z firmy Impromat CZ spol. s r. o., Ing. Jiřímu Vicenovi z firmy HTK a. s. a Břetislavu Rozsypalovi z firmy GEA Klimatizace spol. s r. o.

V Brně dne 20. května 2008

.....
Podpis

OBSAH

ÚVOD.....	8
1. TECHNIKA PROSTŘEDÍ A JEJÍ ÚKOLY	9
2. KLIMATIZAČNÍ ZAŘÍZENÍ A SYSTÉMY	10
2.1 Klimatizační zařízení.....	10
2.2 Klimatizační systémy	12
3. CHLADIVOVÉ KLIMATIZAČNÍ SYSTÉMY	13
4. CÍL PRÁCE	15
5. POPIS OBJEKTU	15
5.1 Vlastnosti budovy	15
5.2 Vlastnosti konstrukcí	16
5.3 Vlastnosti místností	18
6. VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE	20
6.1 Tepelné zisky od vnitřních zdrojů tepla v místnosti 313.....	20
6.2 Tepelné zisky z vnějšího prostředí v místnosti 313.....	22
6.3 Celková tepelná zátěž místností	28
7. NÁVRH KLIMATIZAČNÍHO ZAŘÍZENÍ.....	31
7.1 Návrh klimatizačních jednotek VRV systému	31
7.2 Návrh chladivového potrubí VRV systému.....	32
7.3 Výpočet potřebného množství chladiva VRV systému.....	36
7.4 Kalkulace ceny zařízení VRV systému	37
7.5 Porovnání zařízení firmy Fujitsu s nabídkou jiných výrobců.....	37
7.6 Návrh klimatizačních jednotek přesné klimatizace.....	40
7.7 Návrh vzduchotechnického potrubí pro přesnou klimatizaci.....	41
7.8 Kalkulace ceny jednotek přesné klimatizace.....	47
7.9 Porovnání zařízení firmy Dantherm s nabídkou jiných výrobců.....	47
8. NUMERICKÝ VÝPOČET SPOTŘEBY CHLADU	48
9. NUMERICKÉ OVĚŘENÍ EFEKTIVNOSTI NAVRŽENÉ DISTRIBUCE VZDUCHU V MÍSTNOSTI CLUSTER.....	50
ZÁVĚR.....	52
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	53
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	55
SEZNAM PŘÍLOH	59

ÚVOD

Pro zdravý pobyt člověka je nezbytným předpokladem vyhovující stav okolního prostředí. Na dobrý fyzický a psychický stav člověka v prostředí mají vliv různé vlastnosti prostředí. Vyjma sociálních vlivů jsou to fyzikální vlastnosti prostředí, které ovlivňují stav člověka. Ten se již v dávné historii snažil ovlivňovat své mikroklima a používal k tomu všechny jemu známé a dostupné prostředky. Prvním takovým prostředkem byl oheň, který člověku zajistil pocit tepelného komfortu po desetitisíce let a je tomu tak i dnes. Ventilace vnitřních prostor byla nejprve zajištěna přirozenými mechanismy. Později byly vyvinuty mechanické ventilátory prvně pro větrání dolů. Roku 1859 bylo v Rakousko-Uhersku uzákoněno množství čerstvého vzduchu pro větrání živnostenských pracoven. První českou práci z oboru větrání publikoval Jan Evangelista Purkyně roku 1890 s názvem „Topení a větrání obydlí lidských“. Počátky klimatizace jsou známy ze starověké Indie, kdy do otvorů na návětrné straně budovy byly zavěšovány navlhčené rohože. Pojem „air conditioning“ byl poprvé použit v textilním průmyslu v USA na počátku 20. století. Za největší teoretický pokrok klimatizace se zasloužil Dr. Willis Haviland Carrier.

V dnešní době s rozvíjejícím se průmyslem se do ovzduší uvolňuje stále více škodlivin, které nevznikají činností přírody a živočichů. Zvyšuje se prašnost, narůstá hluchost v industrializovaných oblastech a do ovzduší se uvolňují chemické látky. Všechny tyto procesy mají nepříznivý vliv na organismus člověka. Je tedy nezbytné zajistit pro člověka prostředí s nezávadnými vlastnostmi zejména v uzavřených prostorech budov a výrobních hal.

Úkolem této práce je zpracování návrhu klimatizačního zařízení pro zajištění vhodného mikroklimatu v prostorech Odboru termomechaniky a techniky prostředí, který se nachází v areálu budov Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně. Klimatizovány budou místnosti pro výuku studentů, kanceláře pracovníků odboru a místnosti s výpočetním zázemím odboru. Pro učebny a kanceláře bude zpracován návrh vhodného chladičového klimatizačního systému. Pro místnosti pouze s výpočetní technikou budou navrženy systémy přesné klimatizace tak, aby zajistily ideální parametry prostředí pro dosažení co nejdelší životnosti instalované výpočetní techniky. Součástí práce jsou provedené výpočty a výkresová dokumentace návrhu.

1. TECHNIKA PROSTŘEDÍ A JEJÍ ÚKOLY

I sám člověk, jako každý organismus, je svými metabolickými procesy zdrojem škodliviny. Produkuje oxid uhličitý a vlhkost v různém množství podle jeho aktuální činnosti. Oxid uhličitý je produktem dýchání. Vlhkost se z těla uvolňuje jak dýcháním tak celým povrchem těla. Uvolňování vlhkosti pokožkou je jeden ze dvou termoregulačních procesů lidského těla. Tělo tak využívá výparné teplo vlhkosti ke svému ochlazování. Odebírá se vlhkost obsažená v pokožce nebo tělo produkuje viditelné množství vlhkosti při vyšší potřebě ochlazení, tzv. mokré pocení. Druhým procesem regulace teploty je změna intenzity látkové přeměny v těle. Těmito způsoby si lidské tělo snaží udržet teplotu mezi 36,5 °C a 37 °C.

Pokud nastala rovnováha mezi teplem odebíraným okolním prostředím a teplem produkovaným tělem s minimálním zásahem termoregulačních systémů, člověk nemá pocit chladu ani nadměrného tepla. Je tedy ve stavu *tepelné pohody*. Tuto rovnováhu lze vyjádřit rovnicí, kde tepelná produkce těla je stejně velká jako teplo odevzdané okolnímu prostředí vedením, prouděním, sáláním, dýcháním, vypařováním a akumulací v těle. Tento vztah se nazývá rovnice tepelné rovnováhy (viz [1]). Tepelná rovnováha tedy přímo závisí na vnitřní tepelné produkci těla, tepelném odporu oděvu, teplotě okolního vzduchu, střední radiační teplotě okolních ploch, rychlosti proudění vzduchu a vlhkosti vzduchu.

Ze zdravotně technického hlediska je definována také *pohoda prostředí* jako stav, který člověku zajišťuje podmínky pro zdravý pobyt a maximálně tvořivou práci. Pro dosažení pohody prostředí je nutné sledovat a vyhodnocovat ovlivňující fyzikální činitele, které můžeme dostupnými technickými prostředky ovlivnit.

Hlavní veličinou pro hodnocení pohody prostředí je teplota vzduchu v obytném prostoru. Ve středoevropských podmínkách se za nejvhodnější teplotu dle [2] považují rozmezí 18 až 22 °C v zimním období a 23 až 25 °C v letním období. Vnímání pocitu tepelné pohody je však velice subjektivní a liší se u každého jedince. Pro hodnocení tepelné pohody prostředí bylo zavedeno několik veličin. Hlavní veličinou, kterou upravuje Nařízení vlády č. 523/2002 Sb. [8], je *operativní teplota*. Dalšími jsou *Index PMV* (předpokládaný střední výsledek hodnocení tepelného pocitu člověka), *Index PPD* (předpokládané procento nespokojených), které zavádí norma ČSN ISO 7730 [9].

Také relativní vlhkost vzduchu je důležitým parametrem pro hodnocení prostředí. Vliv vlhkosti na tepelný stav se dá zanedbat jen tehdy, je-li v létě relativní vlhkost vzduchu v místnosti menší než 70 %. Při vyšší relativní vlhkosti je ztíženo vypařování potu a navozuje tak člověku pocit horka. Při relativní vlhkosti nižší než 30 % se zvyšuje tvorba prachu a vysušuje se sliznice dýchacích cest, což jsou také negativní vlivy.

Při hodnocení pohody prostředí není zanedbatelné vyhodnotit rychlost proudění vzduchu v uzavřeném prostoru. Při teplotách 19 až 21 °C je vhodná rychlost proudění pod 0,15 m/s. U vyšších teplot do 26 °C je za neobtěžující považována rychlost do 0,4 m/s. Směrná hodnota podle [9] je *Stupeň obtěžování průvanem (DR)*.

V prostorech pobytu lidí je potřeba kontrolovat množství přítomné škodliviny, zejména produkovaného oxidu uhličitého. Při jeho vyšší koncentraci se může dostavit pocit únavy a nevolnosti. Mezní hodnoty stanovuje Nařízení vlády č. 178/2001 Sb. [7] s úpravou v Nařízení vlády č. 523/2002 Sb. [8]. Ukazateli jsou *Přípustný expoziční limit (PEL)* a *Nejvyšší přípustná koncentrace (NPK-P)*.

Vytvořením prostředí dostupnými technickými prostředky vhodného pro pobyt lidí nebo pro výrobní procesy se zabývá obor *technika prostředí*. Zahrnuje péči o životní prostředí, prostředí přírodní, pracovní, bytové a rekreační. Uplatňuje poznatky z vědních oborů, zejména termomechaniky a mechaniky tekutin.

Důležitou součástí techniky prostředí je *vzduchotechnika*, která se zabývá úpravou a dopravou vzduchu. V pobytové prostředí osob nebo ve výrobním procesu zajišťuje požadovanou výměnu vzduchu, odvádí a kompenzuje vznikající škodlivinu a zajišťuje požadovanou teplotu a vlhkost vzduchu. Tím vytváří potřebné mikroklima v prostředí. Vzduchotechnika se podle účelu rozděluje na komfortní a průmyslovou. *Komfortní vzduchotechnika* slouží k dosažení požadovaných hygienických norem prostředí, kde pobývají osoby, v podobě teplotně vlhkostního mikroklimatu. *Průmyslová vzduchotechnika* zajišťuje požadované prostředí pro průmyslovou výrobu, které má vliv na přesnost a kvalitu výrobního procesu. Patří sem také pneumatická doprava materiálu a sušení. Vzduchotechnika se dále rozděluje na větrání a klimatizaci.

Úkolem *větrání* je zajištění požadované výměny vzduchu a kompenzace vznikající škodliviny a nadměrného tepla. *Klimatizace* stejně jako větrání zajišťuje požadovanou výměnu vzduchu a kompenzuje vznikající škodliviny a navíc umožňuje přesné řízení teploty a vlhkosti větracího vzduchu, resp. vzduchu v klimatizovaném prostoru. Tato práce se nebude zabývat průmyslovou klimatizací, ale pouze komfortními klimatizačními systémy.

2. KLIMATIZAČNÍ ZAŘÍZENÍ A SYSTÉMY

Aby byl zajištěn požadovaný stav prostředí, je zapotřebí odpovídajícím způsobem upravit přiváděný vzduch. K tomuto účelu byla vyvinuta a vyrábějí se klimatizační zařízení, která upravují parametry venkovního vzduchu tak, aby v klimatizovaném prostoru bylo dosaženo požadovaného stavu. Klimatizačním zařízením rozumíme zařízení, které mimo dopravu větracího vzduchu zajišťuje i jeho úpravu. Toto zařízení vzduch čistí (filtry, odlučovače), ohřívá (předehřívače, ohříváče, dohříváče), chladí (chladiče), vlhčí (zvlhčovače) a dopravuje (ventilátory). Prvky zabezpečující jednotlivé děje jsou do klimatizačního zařízení zařazovány podle požadavků na úpravu vzduchu.

Pro správné používání pojmu *klimatizační zařízení* je nutné vědět, že klimatizačním zařízením rozumíme sestavu zařízení, které jsou schopny vykonávat všechny čtyři základní psychrometrické funkce, tj. ohřev, chlazení, vlhčení a odvlhčování. Pokud je sestava schopná zajistit jen některé ze změn stavu vzduchu, hovoříme dle [1] o *neúplném* nebo *částečném klimatizačním zařízení*. Pokud zařízení neslouží k přivádění větracího vzduchu a jen upravuje vzduch z místnosti jednou psychrometrickou funkcí, jedná se dle [1] o *zařízení pro cirkulaci vzduchu*.

Pro prostory s pobytem lidí se používají *komfortní* klimatizační zařízení, která nemusí udržovat tak přesné hodnoty relativní vlhkosti jako zařízení používaná v průmyslových aplikacích. Požadavky vnitřního prostředí jsou dle [1] na teplotu vzduchu v rozmezí 20 až 25 °C s odchylkou ± 1 až 2 °C a na relativní vlhkost vzduchu mezi 30 a 70 % s odchylkou ± 5 %. Nižší hodnoty platí pro zimní a vyšší pro letní provoz zařízení. Oproti technologickým provozům je v komfortní klimatizaci kladen důraz na absenci pachů a nízký obsah škodlivin, např. oxidu uhličitého.

2.1 Klimatizační zařízení

Vzhledem k rozsáhlému sortimentu součástí klimatizačních zařízení tato práce obsahuje jen přehled současných používaných zařízení dle [1] a [3]. Podrobněji se bude věnovat pouze některým druhům chladících zařízení, která se dotýkají projektu řešeného v druhé části této práce. Nevěnuje se také potrubí, vzduchovodům, regulačním a uzavíracím orgánům a koncovým prvkům klimatizačních systémů.

Ventilátory

Hlavním prvkem zařízení jsou ventilátory, jejichž úkolem je předat dopravovanému vzduchu takovou pohybovou energii, aby byl schopen překonat tlakové ztráty v potrubním systému a do klimatizovaného prostoru vstupoval požadovanou rychlostí. Ventilátory jsou rotační lopátkové stroje k dopravě stlačené tekutiny.

Rozdělení ventilátorů používaných v komfortní vzduchotechnice podle směru průtoku vzduchu oběžným kolem je na radiální ventilátory, axiální ventilátory a diagonální ventilátory.

Rozdělení ventilátorů podle dopravního tlaku je na nízkotlaké, středotlaké a vysokotlaké.

Zvlhčovače vzduchu

Pro pocit pohody v prostředí je potřeba v interiéru dosáhnout určité vlhkosti vzduchu. Vlhčení je nutné zejména v zimním období, kdy venkovní vzduch obsahuje malé množství vlhkosti a není vhodné ho přivádět přímo do klimatizovaného prostoru bez úpravy vlhkostních poměrů. Při dosažení relativní vlhkosti 30 až 70 % v interiéru nedochází k vysoušení dýchacích cest, nenastává pocitu chladu a zabraňuje se poškození vybavení interiéru jako je nábytek, elektronika apod.

Zvlhčovat vzduch můžeme přímo ve větraném prostoru, v přívodním potrubí nebo centrálně v klimatizační jednotce. Zvlhčovat vzduch můžeme vodou nebo parou. Pro zvlhčování vodou se používají vodní pračky, parou se zvlhčuje v parních zvlhčovačích.

Zařízení pro vlhčení vodou jsou hladinové zvlhčovače, blánové zvlhčovače, rozstřikovací zvlhčovače, hybridní pračky vzduchu, rozprašovací soustavy a ultrazvukové zvlhčovače.

Zařízení pro vlhčení parou jsou zvlhčovače bez vlastního zdroje páry a zvlhčovače s vlastním zdrojem páry.

Filtry

Pro vytvoření hygienicky nezávadného prostředí je zapotřebí do klimatizovaného prostoru přivádět vzduch splňující veškeré hygienické limity. Je tedy dán velký důraz na odstranění nečistot, které by se do interiéru mohli dostat spolu s větracím vzduchem. Mnohdy je kladen také důraz na čistotu odváděného vzduchu. Filtry také slouží k ochraně vlastních větracích a klimatizačních zařízení.

Filtry se liší účinností filtrace, tlakovou ztrátou a provedením. Podle ČSN EN 779 [10] a ČSN EN 1822 [11] se filtry dělí na filtry pro běžné větrání (prachové) a na vysoce účinné filtry (aerosolové). Podle provedení lze filtry rozdělit na vložkové a pásové. Pro klimatizaci pracovního a obytného prostředí se často používají sorpční filtry.

Ohřívače a chladiče

Jsou to vlastně výměníky tepla, kde tekutina s vyšší teplotou odevzdává část své tepelné energie tekutině s nižší teplotou. Přitom nemusí docházet jen ke změně teploty teplonosného média ale také ke změně skupenství. Typickými výměníky tepla používanými v klimatizaci jsou ohřívače, chladiče, výparníky a kondenzátory.

Rozlišujeme tři základní druhy ohřívačů a chladičů: rekuperační, regenerační a směšovací.

Podle vzájemného směru toku tekutin rozdělujeme výměníky na souproudé, protiproudé a příčné (křížové).

2.2 Klimatizační systémy

Klimatizačním systémem rozumíme soustavu klimatizačních zařízení a potřebné rozvody teplotních médií a vzduchu. Klimatizačních systémů je několik a vhodný typ se volí podle požadavků na individualitu úpravy vzduchu pro jednotlivé místnosti, části objektu, podle hospodárnosti provozu a výše investičních nákladů. Přehled klimatizačních systémů je proveden dle [1] a [3].

Podle místa úpravy vzduchu se klimatizační systémy rozdělují na:

- Centrální (ústřední) klimatizační systémy. Vzduch je upravován v centrální klimatizační jednotce umístěné ve strojovně, odkud je potrubím dopravován do klimatizovaných místností. V centrální jednotce se také může vzduch upravit na základní parametry a v decentralizovaných jednotkách pro každý klimatizovaný prostor se provede dodatečná úprava podle požadavku každého prostoru.
- Jednotkové klimatizační systémy. Tvoří je klimatizační jednotky, které jsou přímo umístěné v klimatizovaném prostoru nebo jsou v její bezprostřední blízkosti. Klimatizační jednotky jsou zařízení kompaktního provedení.

Klimatizační systémy se rozdělují podle použitého teplotního média na:

- Klimatizační systémy vzduchové. Vzduch je na požadované parametry upraven v centrální klimatizační jednotce a tak je dopravován do klimatizovaného prostoru.
- Klimatizační systémy kombinované. Větrací vzduch upravený na základní parametry v centrální jednotce je před vstupem do klimatizovaného prostoru přiveden do indukční jednotky, ve které se vzduch ochladí nebo ohřeje za pomoci teplotní kapaliny na požadovanou teplotu.
- Klimatizační systémy vodní. Na rozvod vody jsou připojeny klimatizační jednotky, které pracují jen s cirkulačním vzduchem nebo nasávají větrací vzduch přívodem skrz obvodovou konstrukci objektu.
- Klimatizační systémy chladivové. Jako teplotní médium používají chemické sloučeniny a využívají jejich výparné teplo. Těmto systémům je věnována kapitola 3. Chladivové klimatizační systémy.

Klimatizační systémy vzduchové se používají tyto:

- Nízkotlaký systém jednokanálový. Větrací vzduch se upravuje v centrální strojovně odkud se rozvádí vzduchotechnickým potrubím do klimatizovaných prostorů. Rychlost vzduchu v potrubí nepřesahuje 12 m/s.
- Nízkotlaký systém vícezónový. Větrací vzduch se v centrální strojovně upravuje na základní parametry a rozvádí se po objektu jedním kanálem. Před každou zónou je umístěn dohříváč, který předupravený vzduch dohřeje na požadovanou teplotu. Zónou rozumíme skupinu místností o stejných požadavcích na teplotu přiváděného vzduchu. Tento systém je dnes již málo používaný. Rychlost vzduchu v potrubí nepřesahuje 12 m/s.
- Vysokotlaký systém jednokanálový. Větrací vzduch se upravuje v centrální strojovně odkud se rozvádí vzduchotechnickým potrubím do klimatizovaných prostorů. Rychlost vzduchu v potrubí dosahuje rychlosti až 25 m/s.
- Vysokotlaký systém dvoukanálový. Větrací vzduch se v centrální strojovně upravuje na dva různé stavy. Tyto se rozvádějí dvěma vzduchotechnickými kanály ke klimatizovanému prostoru, kde se podle potřeby míchají ve směšovací komoře a dopravují do klimatizovaných místností se stejnými požadavky. Rychlost vzduchu v potrubí dosahuje rychlosti až 25 m/s.

Klimatizační systémy kombinované dělíme podle provedení rozvodu teplotnosné kapaliny na:

- Dvoutrubkový přepínací systém. Indukční jednotka je připojena na jedno přívodní a jedno vratné potrubí s teplotnosnou látkou. Podle potřeby chlazení nebo ohřívání je do výměníku v indukční jednotce přiváděno chladné nebo teplé médium.
- Dvoutrubkový nepřepínací systém. Indukční jednotka je připojena na jedno přívodní a jedno vratné potrubí s teplotnosnou látkou. Ta celoročně dle potřeby zajišťuje ohřívání primárního vzduchu, který se přivádí a je ve strojovně upraven na nižší teplotu.
- Čtyřtrubkový systém. Indukční jednotka je připojena na dvě přívodní a dvě vratná potrubí. Jedno s teplotnosnou látkou pro ohřívání a druhé s teplotnosnou látkou pro chlazení. Podle potřeby chlazení nebo ohřívání proudí přes výměníky v indukční jednotce sekundární vzduch.

Klimatizační systémy vodní dělíme podle rozvodu teplotnosného média stejně jako systémy kombinované.

Klimatizační jednotky

Pro centrální a decentrální klimatizační systémy se používají různé klimatizační jednotky. Liší se zejména v konstrukčním uspořádání. Jednotky pro centralizované klimatizační systémy jsou velké, protože je po nich požadována úprava velkého objemového průtoku vzduchu. Zařízení pro jednotkovou úpravu vzduchu by měla být kompaktní a snadno instalovatelná.

Klimatizační jednotky pro centrální úpravu vzduchu známe sestavné, blokové (kompaktní, rooftop) a komorové (zděné) klimatizační jednotky

Klimatizační jednotky pro jednotkové klimatizační systémy jsou ventilátorové (fan-coil), skříňové, okenní klimatizátory, mobilní a dělené klimatizační jednotky.

3 CHLADIVOVÉ KLIMATIZAČNÍ SYSTÉMY

Klimatizační systémy, kterými se podrobněji zabývá tato práce, k chlazení využívají změnu fáze pracovní látky. Jako pracovní látky se používají kapaliny s nízkou teplotou vypařování, často kolem 0 °C. Podrobnosti viz [4], [5] a [6]. Používané pracovní látky se od 60. let 20. století mění. Jsou stále zdokonalovány jejich tepelné vlastnosti a zejména je kladen důraz na jejich netoxičnost, nevýbušnost a šetrnost k životnímu prostředí. Proto byly postupně využívány kyslíčnick sířičitý, halogenované uhlovodíky a fluorované uhlovodíky. Používání chladiv vymezuje Nařízení vlády č. 2037/2000 [12].

Hlavním znakem systému pro klimatizaci s chladivem jako pracovní látkou je přítomnost kompresoru jako zdroje dopravního tlaku. Tato zařízení obecně pracují s vyššími tlaky. Pracovní tlak v části chladivového okruhu za kompresorem může být i několik megapascal (např. 2,8 MPa pro chladivo R410a). V tomto místě je v systému také nejvyšší teplota (80 °C). Pracovní látka se dále přemístí do kondenzátoru, kde se mu odebere teplo (pokles teploty na 35 °C, tlak téměř konstantní). Zkondenzované chladivo pak prochází škrticím prvkem, kde se zmaří zbytek jeho energie (0 °C, 0,7 MPa). Ve výparníku pracovní látka přijímá teplo z chlazeného prostoru a dochází k jejímu vypařování. Teplota pracovní látky se zvyšuje téměř za konstantního tlaku (8 °C, 0,65 MPa). Klimatizační zařízení se tedy skládá z kompresoru, kondenzátoru, škrticího prvku a výparníku.

Moderní chladivová zařízení pro domácnosti také slučují funkci tepelného čerpadla, která umožňují těmito zařízeními přitápět. Konstrukce takového zařízení umožňuje tok pracovní

látky v opačném směru. Pak část zařízení sloužící v režimu chlazení jako výparník v režimu vytápění slouží jako kondenzátor a do pobytového prostoru dodává teplo. Kondenzátor pro chlazení pak funguje jako výparník.

Kompresorová chladicí zařízení nejprve sloužila pouze k úpravě teploty přiváděného vzduchu, resp. teploty vzduchu v místnosti. Pro prostředí s vyššími požadavky na kvalitu prostředí, tj. nejen na teplotu ale také na vlhkost vzduchu, jsou určeny *přesné klimatizace*.

Přesná klimatizace se používá hlavně pro chlazení např. technologických prostor, telekomunikačních a výpočetních center a laboratoří. U technologických prostor je vlhkost daná výrobním postupem. Pro elektronická zařízení je nutná minimální relativní vlhkost 35 % z důvodu zabránění vzniku statické elektřiny, která by mohla zařízení trvale poškodit. Vlhkost pro vlhčení se v těchto zařízeních získává z venkovního prostoru a přivádí se do chlazeného prostoru. Některá zařízení mohou i odvlhčovat.

Podle konstrukce dělíme chladivové klimatizační systémy na mobilní klimatizační jednotky, okenní klimatizátory, klimatizace bez vnější jednotky a dělené klimatizační jednotky monosplit, multisplit a VRV (tzn. s proměnným objemem chladiva z anglického Variable Refrigerant Volume, nebo také používaná zkratka VRF, tzn. s proměnným průtokem chladiva z anglického Variable Refrigerant Flow).

- Mobilní klimatizační jednotky. Tyto jednotky jsou určeny především k chlazení prostoru a filtraci vzduchu. Vyrábějí se v kompaktním nebo rozkládacím provedení (oddělení venkovní a vnitřní jednotky a jejich vzájemné propojení). Jejich výkon je do 4 kW.
- Okenní klimatizátory. Jedná se o kompaktní zařízení upravující vzduch jen v místnosti, do jejíž obvodové stěny je instalováno. Na trhu jsou k dispozici zařízení o chladících výkonech do 12 kW. Vyrábějí se i klimatizátory s funkcí tepelného čerpadla.
- Klimatizace bez vnější jednotky. Převážně nástěnné vnitřní jednotky bez venkovní jednotky. Vzduch pro chlazení kompresoru a kondenzátoru je přiváděn a odváděn dvěma otvory v obvodové stěně.
- Dělené klimatizační jednotky monosplit. Zařízení, kde je jedna vnitřní jednotka napojena chladivovým potrubím na jednu venkovní (kondenzační) jednotku. Toto zařízení umožňuje chladit i vytápět prostor v němž je instalováno. Chladicí výkony jsou až 12 kW. Vnitřní jednotky mohou být nástěnné, kazetové, podstropní, parapetní, flexibilní nebo kanálové.
- Dělené klimatizační jednotky multisplit. Lze na jednu výkonnější venkovní jednotku připojit více vnitřních jednotek (maximálně 4). V takové sestavě musí všechny jednotky pracovat vždy ve stejném režimu.
- Dělené klimatizační jednotky VRV (VRF). Na jednu venkovní jednotku je možné připojit dle [4] až 90 různých vnitřních jednotek. Tyto jednotky mohou pracovat nezávisle na ostatních.

Jednotky přesné klimatizace se vyrábějí v různých provedeních, aby byl sortiment dostupný pro široké možnosti instalace. Proto se vyrábějí jak dělené jednotky, tak kompaktní skříňové jednotky s výfukem upraveného vzduchu nahoru přímo do prostoru nebo do podlahy. Chladicí výkony těchto zařízení dosahují i 300 kW s přesností regulace teploty $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkosti $\pm 5\text{ }\%$.

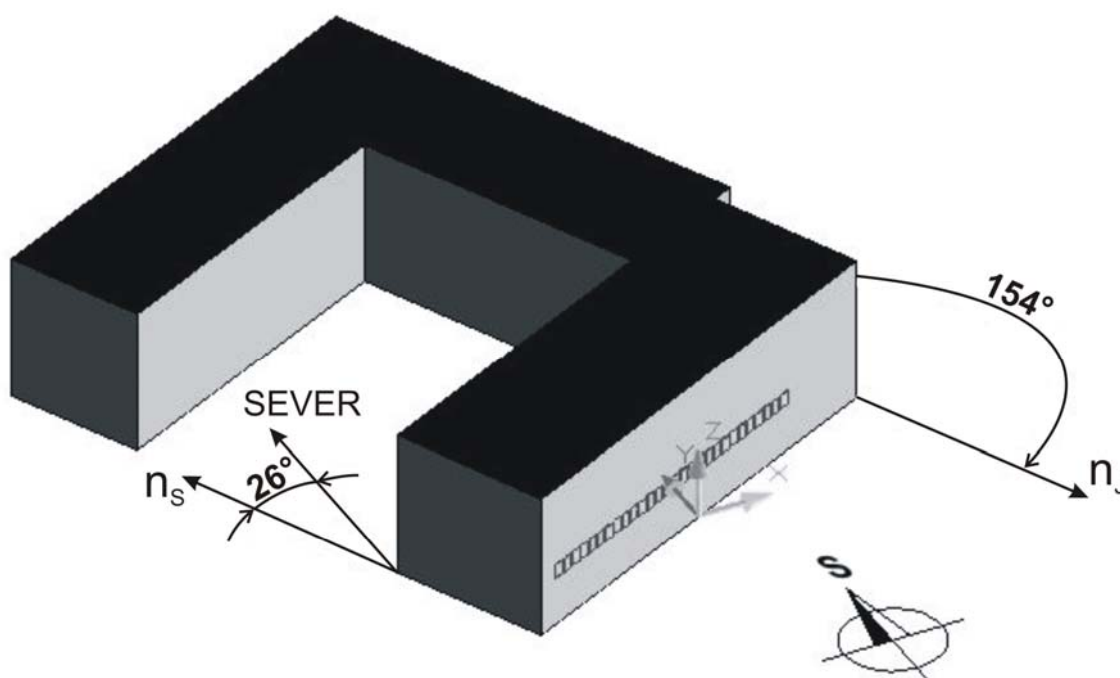
4 CÍL PRÁCE

Práce řeší návrh klimatizačního zařízení pro prostory Odboru termomechaniky a techniky prostředí FSI VUT v Brně. Odbor se nachází ve 3. NP budovy A2. Klimatizační zařízení bude provozováno pouze v letním období. Klimatizovány budou pouze některé místnosti podlaží, u kterých je potřebné zajistit odpovídající mikroklimatické podmínky. Klimatizační systém pro učebny studentů a kanceláře pracovníků odboru bude chladivový komfortní s dělenými klimatizačními jednotkami, tzv. VRV systém. Zvláštní pozornost bude věnována místnostem, kde je umístěna pouze výpočetní technika. V nich budou požadované mikroklimatické podmínky zajištěny systémy přesné klimatizace. Součástí projektu je kalkulace a porovnání ceny zařízení několika vybraných dodavatelů. Pro vypracování návrhu byla poskytnuta potřebná výkresová dokumentace a složení stavebních konstrukcí.

5 POPIS OBJEKTU

5.1 Vlastnosti budovy

Řešený objekt se nachází v Brně v městské části Královo Pole. Jedná se o přibližně 20 let starou stavbu. Nachází se v uzavřeném areálu budov Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně. Celkem má 7 nadzemních podlaží. Řešené je pouze 3. NP. Okna tohoto podlaží jsou orientována přibližně směrem sever-jih. Jak ukazuje obr. 5.1, normála stěny dále označované jako „severní“ je odkloněna 26° na západ. Normála stěny dále označované jako „jižní“ má se severním směrem azimut 154° .



Obr. 5.1: Orientace stěn objektu k severu, řešené podlaží je zobrazeno s okny

5.2 Vlastnosti konstrukcí

K severní stěně přiléhají učebny pro studenty odboru. Po celé její délce je pravidelně rozmístěno 26 oken se zdvojeným zasklením, dřevěným rámem a světlými žaluziemi. Pod okny je stěna zděná z děrovaných cihel o celkové tloušťce konstrukce 355 mm. Mezi okny se nacházejí nosné pilíře z železobetonu a meziokenní vložky o tloušťce 120 mm.

Východní stěna z části sousedí s propojovací chodbou komplexu budov a z části s venkovním prostředím, kde je složená z železobetonu a přízdívky a má tloušťku 590 mm.

K jižní stěně přiléhají kanceláře pracovníků odboru. Po celé její délce je pravidelně rozmístěno 28 oken se zdvojeným zasklením, dřevěným rámem a světlými žaluziemi. Pod okny je stěna zděná z děrovaných cihel o celkové tloušťce konstrukce 355 mm. Mezi okny se nacházejí nosné pilíře z železobetonu a meziokenní vložky o tloušťce 120 mm.

Západní stěna sousedí jen s venkovním prostředím, kde je složená z železobetonu a přízdívky a má tloušťku 590 mm.

Vlastnosti obvodových konstrukcí byly součástí poskytnutých materiálů. Výpočtové tepelné vlastnosti obvodových konstrukcí jsou tedy tyto:

- Součinitel prostupu tepla severní obvodové stěny pod okny $U = 1,33 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
- Součinitel prostupu tepla jižní obvodové stěny pod okny $U = 1,33 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
- Součinitel prostupu tepla obvodové stěny mezi okny $U = 0,95 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
- Součinitel prostupu tepla východní obvodové stěny $U = 1,82 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
- Součinitel prostupu tepla západní obvodové stěny $U = 1,82 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$

O instalovaných oknech a dveřích nebyly dostupné žádné materiály a proto byly výpočtové hodnoty převzaty z ČSN 73 0540 [14].

- Okno zdvojené $U = 2,9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
- Dveře vnitřní dřevěné $U = 2,0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$

Skladba vnitřních konstrukcí byla součástí poskytnutých materiálů. Vlastnosti materiálů byly převzaty z ČSN 73 0540 [14].

Součinitel prostupu tepla vnitřních konstrukcí byl získán vztahem:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \sum_{i=1}^n R_i} \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}] \quad (5.1)$$

$\alpha_{1,2}$ – součinitel přestupu tepla $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$

Na svislé ploše stěny je $\alpha = 8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Na vodorovné ploše neomezující volné proudění je $\alpha = 8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Na vodorovné ploše omezující volné proudění je $\alpha = 6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

R_i – tepelný odpor vrstvy $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \quad [\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$$

d – tloušťka vrstvy [m]

λ – měrná tepelná vodivost $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$

- Příčka tloušťky 150 mm

Tab. 5.1: Složení příčky tloušťky 150 mm

Druh materiálu	Měrná tepelná vodivost λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Tloušťka vrstvy d [m]	Tepelný odpor vrstvy R_i [m ² ·K·W ⁻¹]
omítka vnitřní	1,02	0,020	0,02
zdivo z cihel CD	0,65	0,115	0,18
omítka vnitřní	1,02	0,020	0,02

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \sum_{i=1}^n R_i} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{1}{8} + 0,02 + 0,18 + 0,02} = 2,13 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

- Příčka tloušťky 280 mm

Tab. 5.2: Složení příčky tloušťky 280 mm

Druh materiálu	Měrná tepelná vodivost λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Tloušťka vrstvy d [m]	Tepelný odpor vrstvy R_i [m ² ·K·W ⁻¹]
omítka vnitřní	1,02	0,020	0,02
zdivo z cihel CD	0,65	0,240	0,37
omítka vnitřní	1,02	0,020	0,02

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \sum_{i=1}^n R_i} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{1}{8} + 0,02 + 0,37 + 0,02} = 1,52 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

- Stěna tloušťky 850 mm

Tab. 5.3: Složení stěny tloušťky 850 mm

Druh materiálu	Měrná tepelná vodivost λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Tloušťka vrstvy d [m]	Tepelný odpor vrstvy R_i [m ² ·K·W ⁻¹]
omítka vnitřní	1,02	0,020	0,02
zdivo z cihel CD	0,65	0,240	0,37
vzduchová vrstva		0,500	0,23
zdivo z cihel CD	0,65	0,115	0,18
omítka vnitřní	1,02	0,020	0,02

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \sum_{i=1}^n R_i} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{1}{8} + 0,02 + 0,37 + 0,23 + 0,18 + 0,02} = 0,93 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

- Podlaha tloušťky 350 mm

Tab. 5.4: Složení podlahy tloušťky 350 mm

Druh materiálu	Měrná tepelná vodivost λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	Tloušťka vrstvy d [m]	Tepelný odpor vrstvy R_i [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]
PVC	0,16	0,005	0,03
betonová mazanina	1,60	0,080	0,05
keramické nosníky	0,83	0,240	0,29
omítka vnitřní	1,02	0,020	0,02

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \sum_{i=1}^n R_i} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{1}{8} + 0,03 + 0,05 + 0,29 + 0,02} = 1,56 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

- Strop tloušťky 350 mm

Tab. 5.5: Složení stropu tloušťky 350 mm

Druh materiálu	Měrná tepelná vodivost λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	Tloušťka vrstvy d [m]	Tepelný odpor vrstvy R_i [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]
PVC	0,16	0,005	0,03
betonová mazanina	1,60	0,080	0,05
keramické nosníky	0,83	0,240	0,29
omítka vnitřní	1,02	0,020	0,02

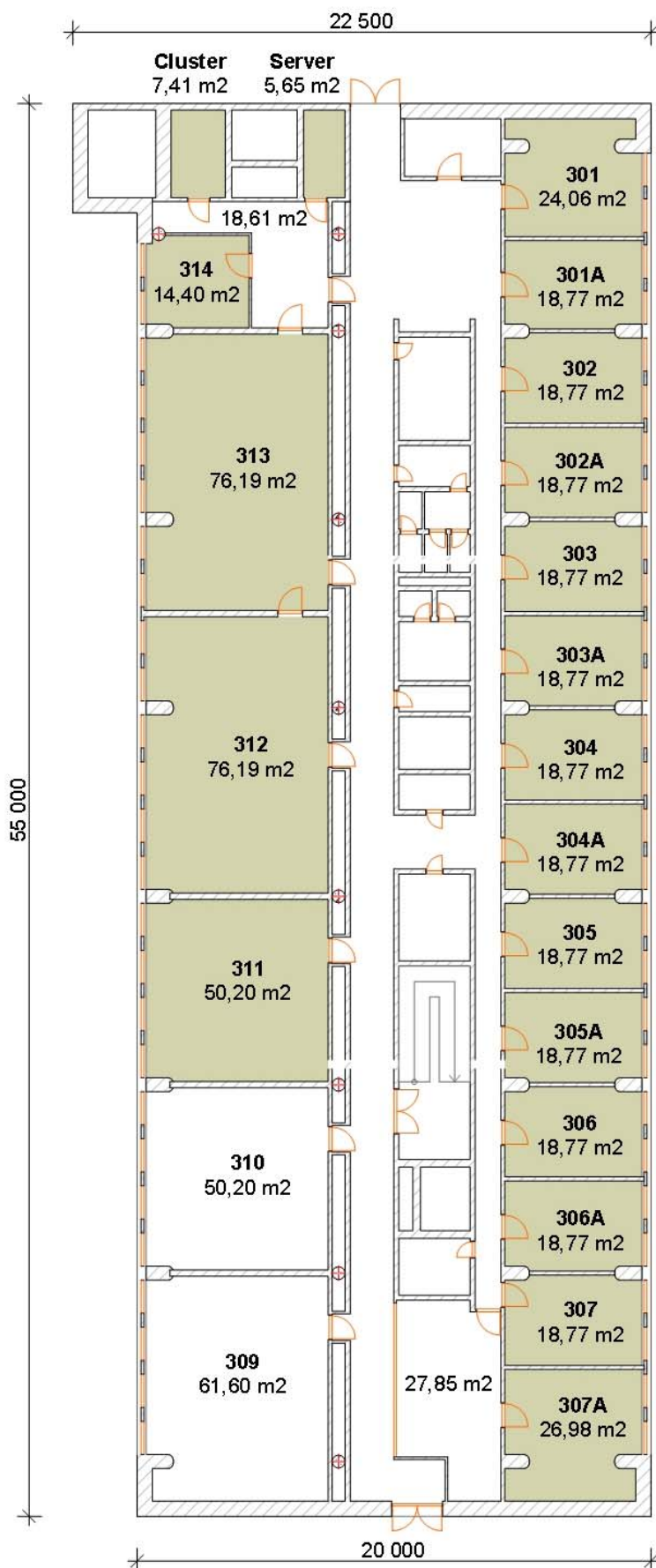
$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \sum_{i=1}^n R_i} = \frac{1}{\frac{1}{6} + \frac{1}{8} + 0,03 + 0,05 + 0,29 + 0,02} = 1,47 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

5.3 Vlastnosti místností

Klimatizovány budou tyto místnosti s uvedenými vlastnostmi:

- 301, 301a, 302, 302a, 303, 303a, 304, 304a, 305, 305a, 306, 306a, 307, 307a – Kanceláře pracovníků odboru. Různý počet pracovníků a umístěné výpočetní techniky.
- 311 – Pracovní stanice a grafika. Počítačová učebna pro 10 studentů, tisk.
- 312 – Učebna. Pro 40 studentů, dataprojektor.
- 313 – Počítačová učebna. Pro 15 studentů, dataprojektor.
- 314 – Počítačová laboratoř. Zázemí správce IT, výpočetní technika.
- SERVER – Místnost se 4 výkonnými počítači.
- CLUSTER – Výpočetní středisko odboru, 48 výkonných počítačů, 3 síťové přepínače.

Výkresová dokumentace je umístěna v Příloze P5 a obsahuje výkres A3-000-01 Stavební půdorys, A1-000-02 VRV systém, A3-000-03 Přesná klimatizace, A3-000-04 Přesná klimatizace, pohled.



Obr. 5.2: Dispoziční schéma podlaží se zvýrazněním klimatizovaných místností

6 VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE

Pro návrh klimatizačního zařízení je potřeba zjistit tepelnou zátěž klimatizovaného prostoru. Výpočet bude proveden podle normy ČSN 73 0548 [13]. Budou zahrnuty všechny předpokládané tepelné zisky podle zjištěných vlastností klimatizovaných místností. Výpočet tepelných zisků z vnějšího prostředí bude realizován pro celou předpokládanou dobu provozu, tj. od 8:00 do 18:00 hodin středoevropského letního času (dále jen SELČ), resp. od 7:00 do 17:00 slunečního času, a to po hodinách pro slunný den 21. červenec. Výpočtová venkovní teplota je 30 °C, výpočtová teplota v obytných místnostech je 26 °C, v místnostech pouze pro výpočetní techniku je požadovaná teplota 22 °C.

Postup výpočtu tepelné zátěže je ukázkově proveden pro 12:00 hodin slunečního času, tzn. 13:00 hodin SELČ, pro místnost 313, počítačová učebna pro 15 studentů s dataprojektorem. Vypočtené hodnoty celkové tepelné zátěže pro všechny místnosti jsou souhrnně uvedeny v tabulce na konci podrobného výpočtu. Výsledné hodnoty pro výpočet tepelné zátěže pro každou místnost jsou uvedeny v Příloze P1.

6.1 Tepelné zisky od vnitřních zdrojů tepla v místnosti 313

Produkce tepla lidí

$$Q_l = i_l \cdot 0,1 \cdot Q_{cit} \cdot (36 - t_i) \text{ [W]} \quad (6.1)$$

i_l – počet lidí [-]

$$i_l = 15$$

Q_{cit} – produkce citelného tepla osoby [W]

Dle [1], činnost: sedící, mírně pracující, $Q_{cit} = 62 \text{ W}$.

t_i – teplota v klimatizované místnosti

Dle ČSN 73 0548 je $t_i = 26 \text{ °C}$.

$$Q_l = i_l \cdot 0,1 \cdot Q_{cit} \cdot (36 - t_i) = 15 \cdot 0,1 \cdot 62 \cdot (36 - 26) = 930 \text{ W}$$

Produkce tepla svítidel

$$Q_{sv} = P_{sv} \cdot c_1 \cdot c_2 \text{ [W]} \quad (6.2)$$

P_{sv} – celkový příkon svítidel včetně ztráty v předřadníku [W]

Zdrojem světla jsou zářivky GE Lighting typ F54W/840/Starcoat o výkonu 54 W a typ F28W/840/Starcoat a výkonu 28W. V době nejvyšších tepelných zisků je vzhledem k hloubce místnosti v provozu 6 zářivek typu F54W/840 o celkovém příkonu

$$P_{sv} = 6 \cdot 54 = 324 \text{ W}$$

c_1 – součinitel současnosti používání svítidel [-]

$$c_1 = 1$$

c_2 – zbytkový součinitel [-]

$$c_2 = 1$$

$$Q_{sv} = P_{sv} \cdot c_1 \cdot c_2 = 324 \cdot 1 \cdot 1 = 324 \text{ W}$$

Produkce tepla elektronických zařízení

$$Q_e = c_1 \cdot c_3 \cdot \sum P_e \text{ [W]} \quad (6.3)$$

c_1 – součinitel současnosti [-]

$$c_1 = 1$$

c_3 – průměrné zatížení zdroje [-]

$$c_3 = 1$$

ΣP_e – celkový trvalý příkon [W]

15 počítačů o příkonu 200W, 15 monitorů o příkonu 70W, 1 dataprojektor o příkonu 200W.

$$\Sigma P_e = 15 \cdot 200 + 15 \cdot 70 + 1 \cdot 200 = 4250 \text{ W}$$

$$Q_e = c_1 \cdot c_3 \cdot \Sigma P_e = 1 \cdot 1 \cdot 4250 = 4250 \text{ W}$$

Tepelné zisky vnitřními stěnami

$$Q_{vs} = U \cdot S \cdot (t_{is} - t_i) \text{ [W]} \quad (6.4)$$

U – součinitel prostupu tepla stěnou [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

S – povrch stěny [m^2]

t_{is} – teplota sousední místnosti [$^{\circ}\text{C}$]

Pro sousední neklimatizované prostory dle ČSN 73 0548 je $t_{is} = 30^{\circ}\text{C}$.

t_i – teplota klimatizované místnosti [$^{\circ}\text{C}$]

Dle ČSN 73 0548 je $t_i = 26^{\circ}\text{C}$.

- Stěna tloušťky 850 mm (označení SN)

$$U = 0,93 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$S = 10,7 \cdot 3,4 - 2 = 34,38 \text{ m}^2$$

$$Q_{vs,1} = U \cdot S \cdot (t_{is} - t_i) = 0,93 \cdot 34,38 \cdot (30 - 26) = 127,89 \text{ W}$$

- Dveře vnitřní dřevěné (označení DN)

$$U = 2,00 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$S = 1 \cdot 2 = 2 \text{ m}^2$$

$$Q_{vs,2} = U \cdot S \cdot (t_{is} - t_i) = 2 \cdot 2 \cdot (30 - 26) = 16 \text{ W}$$

- Stěna tloušťky 280 mm (označení SN)

$$U = 1,52 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$S = (6,9 - 4) \cdot 3,4 - 2 = 7,86 \text{ m}^2$$

$$Q_{vs,3} = U \cdot S \cdot (t_{is} - t_i) = 1,52 \cdot 7,86 \cdot (30 - 26) = 47,79 \text{ W}$$

- Dveře vnitřní dřevěné (označení DN)

$$U = 2,00 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$S = 1 \cdot 2 = 2 \text{ m}^2$$

$$Q_{vs,4} = U \cdot S \cdot (t_{is} - t_i) = 2 \cdot 2 \cdot (30 - 26) = 16 \text{ W}$$

- Podlaha tloušťky 350 mm (označení PDL)

$$U = 1,56 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$S = 10,7 \cdot 6,9 = 73,83 \text{ m}^2$$

$$Q_{vs,5} = U \cdot S \cdot (t_{is} - t_i) = 1,56 \cdot 73,83 \cdot (30 - 26) = 460,70 \text{ W}$$

- Strop tloušťky 350 mm (označení STR)

$$U = 1,47 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$S = 10,7 \cdot 6,9 = 73,83 \text{ m}^2$$

$$Q_{vs,6} = U \cdot S \cdot (t_{is} - t_i) = 1,47 \cdot 73,83 \cdot (30 - 26) = 434,12 \text{ W}$$

$$Q_{vs} = \sum_{i=1}^n Q_{vs,i} = 127,89 + 16 + 47,79 + 16 + 460,7 + 434,12 = 1102,5 \text{ W}$$

Do tepelných zisků od vnitřních zdrojů tepla zahrnujeme také produkci tepla elektromotorů, produkci tepla ventilátorů, produkci tepla ohřátím ve vzduchovodech a jiné zdroje. Tyto tepelné zisky nejsou zahrnuty do výpočtu, protože se v klimatizovaných prostorech nevyskytují.

6.2 Tepelné zisky z vnějšího prostředí v místnosti 313

Tepelné zisky okny prostupem tepla

$$Q_{ok} = U_o \cdot S_o \cdot (t_e - t_i) \text{ [W]} \quad (6.5)$$

U_o – součinitel prostupu tepla oknem [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

$$U_o = 2,9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

S_o – plocha okna včetně rámu [m^2]

$$S_o = 6 \cdot 1,4 \cdot 2,1 = 17,64 \text{ m}^2$$

$(t_e - t_i)$ – rozdíl teplot na obou stranách okna [$^{\circ}\text{C}$],

Dle ČSN 73 0548 je $t_i = 26 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ukázkový výpočet je pro 12:00 hodin, kdy dle ČSN 73 0548 je $t_e = 27,9^{\circ}\text{C}$.

$$Q_{ok} = U_o \cdot S_o \cdot (t_e - t_i) = 2,9 \cdot 17,64 \cdot (27,9 - 26) = 97,2 \text{ W}$$

Tabulky výpočtu tepelných zisků okny prostupem tepla pro každou hodinu provozu jsou uvedeny v Příloze P1.

Tepelné zisky okny sluneční radiací

a) Sluneční deklinace

$$\delta_s = 23,5 \cdot \sin[(M - 1) \cdot 30 + D - 81] \text{ [}^{\circ}\text{]} \quad (6.6)$$

M – číslo měsíce, pro který je prováděn výpočet [-]

$$M = 7$$

D – číslo dne, pro který je prováděn výpočet [-]

$$D = 21$$

$$\delta_s = 23,5 \cdot \sin[(M - 1) \cdot 30 + D - 81] = 23,5 \cdot \sin[(7 - 1) \cdot 30 + 21 - 81] = 20,35 \text{ }^{\circ}$$

b) Výška slunce nad obzorem

$$h_s = \arcsin[\sin \delta_s \cdot \sin \psi - \cos \delta_s \cdot \cos \psi \cdot \cos(15 \cdot \tau)] \text{ [}^{\circ}\text{]} \quad (6.7)$$

ψ - zeměpisná šířka umístění počítaného objektu [$^{\circ}$]

$$\psi = 50 \text{ }^{\circ}$$

τ - sluneční čas výpočtu [-]

$$\tau = 12$$

$$\begin{aligned} h_s &= \arcsin[\sin \delta_s \cdot \sin \psi - \cos \delta_s \cdot \cos \psi \cdot \cos(15 \cdot \tau)] = \\ &= \arcsin[\sin 20,35 \cdot \sin 50 - \cos 20,35 \cdot \cos 50 \cdot \cos(15 \cdot 12)] = 60,35 \text{ }^{\circ} \end{aligned}$$

c) Sluneční azimut

$$a_1 = \arcsin \left[\frac{\sin(15 \cdot \tau) \cdot \cos \delta_s}{\cos h_s} \right] [^\circ] \quad (6.8)$$

τ - sluneční čas výpočtu [-]

$$\tau = 12$$

$$a_1 = \arcsin \left[\frac{\sin(15 \cdot \tau) \cdot \cos \delta_s}{\cos h_s} \right] = \arcsin \left[\frac{\sin(15 \cdot 12) \cdot \cos 20,35}{\cos 60,35} \right] = 0^\circ$$

Vypočtený úhel udává odklon slunce od jihu. Odklon směru slunečních paprsků od jihu bude tedy:

$$a = 180 - a_1 [^\circ] \quad (6.9)$$

$$a = 180 - a_1 = 180 - 0 = 180^\circ$$

d) Úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem slunečních paprsků

$$\Theta = \arccos[\sin h_s \cdot \cos \alpha + \cos h_s \cdot \sin \alpha \cdot \cos(a - \gamma)] [^\circ] \quad (6.10)$$

α – úhel stěny s vodorovnou rovinou na stěně odvrácené od slunce [°]

$$\alpha = 90^\circ$$

γ – azimutový úhel normály stěny vůči severu [°]

$$\gamma = 334^\circ$$

$$\begin{aligned} \Theta &= \arccos[\sin h_s \cdot \cos \alpha + \cos h_s \cdot \sin \alpha \cdot \cos(a - \gamma)] = \\ &= \arccos[\sin 60,35 \cdot \cos 90 + \cos 60,35 \cdot \sin 90 \cdot \cos(180 - 334)] = 116,4^\circ \end{aligned}$$

e) Osluněná plocha oken

$$S_{os} = i_o \cdot [l_A - (e_1 - f)] \cdot [l_B - (e_2 - g)] [m^2] \quad (6.11)$$

i_o – počet oken [-]

$$i_o = 6$$

l_A – šířka zasklení okna [m]

$$l_A = 1,4 \text{ m}$$

e_1 – délka stínu v okenním otvoru od okraje svislého slunolamu [m]

$$e_1 = d \cdot \operatorname{tg}(a - \gamma) [m]$$

(6.12)

Pokud $e_1 < 0$ nebo $e_1 > l_A$, pak je zastíněná celá plocha okna, tedy $e_1 = l_A + f$.

d – hloubka svislého slunolamu [m]

$$d = 0,15 \text{ m}$$

$$e_1 = d \cdot \operatorname{tg}(a - \gamma) = 0,15 \cdot \operatorname{tg}(180 - 334) = -0,01 \text{ m}$$

f – odstup svislé části okna od slunolamu [m]

$$f = 0,05 \text{ m}$$

l_B – výška zasklení okna [m]

$$l_B = 2,1 \text{ m}$$

e_2 – délka stínu v okenním otvoru od okraje vodorovného slunolamu [m]

$$e_2 = \frac{c \cdot \operatorname{tg} h_s}{\cos(a - \gamma)} [m]$$

(6.13)

Pokud $e_2 < 0$ nebo $e_2 > l_B$, pak je zastíněná celá plocha okna, tedy $e_2 = l_B + g$.

c – hloubka vodorovného slunolamu [m]

$$c = 0,15 \text{ m}$$

$$e_2 = \frac{c \cdot \operatorname{tg} h_s}{\cos(a - \gamma)} = \frac{0,15 \cdot \operatorname{tg} 60,35}{\cos(180 - 334)} = -0,29 \text{ m}$$

g – odstup vodorovné části okna od slunolamu [m]

$$g = 0,05 \text{ m}$$

$$S_{os} = i_o \cdot [l_A - (e_1 - f)] \cdot [l_B - (e_2 - g)] = i_o [l_A - (l_A + f - f)] \cdot [l_B - (l_B + g - g)] = \\ = 6 \cdot [1,4 - (1,4 + 0,05 - 0,05)] \cdot [2,1 - (2,1 + 0,05 - 0,05)] = 0 \text{ m}^2$$

f) Intenzita přímé sluneční radiace na plochu kolmou ke slunečním paprskům

$$I_{Dk} = I_0 \cdot \exp \left[-\frac{z}{10} \cdot \left(\frac{16000 - H}{16000 + H} \cdot \frac{1}{\sin h_s} \right)^{0,8} \right] [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (6.14)$$

I_0 – sluneční konstanta [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

Dle ČSN 73 0548 je $I_0 = 1350 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

z – součinitel znečištění atmosféry [-]

Dle ČSN 73 0548 je $z = 5$.

H – nadmořská výška místa s řešeným objektem [m]

$$H = 227 \text{ m}$$

$$I_{Dk} = I_0 \cdot \exp \left[-\frac{z}{10} \cdot \left(\frac{16000 - H}{16000 + H} \cdot \frac{1}{\sin h_s} \right)^{0,8} \right] = \\ = 1350 \cdot \exp \left[-\frac{5}{10} \cdot \left(\frac{16000 - 227}{16000 + 227} \cdot \frac{1}{\sin 60,35} \right)^{0,8} \right] = 781,34 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

g) Intenzita přímé sluneční radiace na libovolně orientovanou plochu

$$I_D = I_{Dk} \cdot \cos \Theta [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (6.15)$$

$$I_D = I_{Dk} \cdot \cos \Theta = 781,34 \cdot \cos 116,4 = -347,41 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Pokud $\dot{I}_D < 0$, pak $\dot{I}_D = 0$.

h) Intenzita difúzní sluneční radiace na libovolně orientovanou plochu

$$I_d = \left[I_0 - I_{Dk} - (1080 - 1,4 \cdot I_{Dk}) \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right] \cdot \frac{\sin h_s}{3} [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (6.16)$$

$$I_d = \left[I_0 - I_{Dk} - (1080 - 1,4 \cdot I_{Dk}) \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right] \cdot \frac{\sin h_s}{3} = \\ = \left[1350 - 780,14 - (1080 - 1,4 \cdot 781,34) \cdot \sin^2 \frac{90}{2} \right] \cdot \frac{\sin 60,35}{3} = 166,75 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

i) Intenzita difúzní sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením

$$I_{odif} = T_d \cdot I_d [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (6.17)$$

T_d – celková propustnost difúzní sluneční radiace standardního skla [-]

Dle ČSN 73 0548 je $T_d = 0,85$.

$$I_{odif} = T_d \cdot I_d = 0,85 \cdot 166,75 = 141,73 \text{ W.m}^{-2}$$

j) Celková intenzita sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením

$$I_o = T_D \cdot I_D + I_{odif} \text{ [W.m}^{-2}] \quad (6.18)$$

T_D – celková poměrná propustnost přímé sluneční radiace [-]

$$T_D = 0,87 - 1,47 \left(\frac{\Theta}{100} \right)^5 \quad (6.19)$$

$$T_D = 0,87 - 1,47 \left(\frac{\Theta}{100} \right)^5 = 0,87 - 1,47 \left(\frac{116,4}{100} \right)^5 = -2,27$$

$$I_o = T_D \cdot I_D + I_{odif} = -2,27 \cdot 0 + 141,73 = 141,73 \text{ W.m}^{-2}$$

k) Tepelný zisk sluneční radiací okny

$$Q_{or} = [S_{os} \cdot I_o \cdot c_o + (S_o - S_{os}) \cdot I_{odif}] \cdot s \text{ [W]} \quad (6.20)$$

c_o – korekce na čistotu atmosféry [-]

Dle ČSN 73 0548, pro průmyslovou a městskou oblast je $c_o = 0,85$.

s – stínící součinitel [-]

Dle ČSN 73 0548, pro dvojité sklo je $s_1 = 0,9$, pro vnitřní žaluzie světlé je $s_2 = 0,56$, pak celková hodnota stínícího součinitele je $s = s_1 \cdot s_2 = 0,9 \cdot 0,56 = 0,504$.

$$\begin{aligned} Q_{or} &= [S_{os} \cdot I_o \cdot c_o + (S_o - S_{os}) \cdot I_{odif}] \cdot s = \\ &= [0 \cdot 141,73 \cdot 0,85 + (17,64 - 0) \cdot 141,73] \cdot 0,504 = 1114,4 \text{ W} \end{aligned}$$

Tabulky a grafy výpočtu tepelných zisků okny sluneční radiací pro každou hodinu provozu jsou uvedeny v Příloze P1.

Tepelné zisky stěnami

Vzhledem k vlastnostem konstrukcí neuvažujeme ve výpočtu tepelné zátěže akumulaci tepla do konstrukcí. Ověřujeme pouze prostup tepla stěnami.

a) Rovnocenná sluneční teplota vzduchu

$$t_r = t_e + \frac{\varepsilon \cdot I}{\alpha_e} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (6.21)$$

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

Ukázkový výpočet je pro 12:00 hodin, kdy dle ČSN 73 0548 je $t_e = 27,9^\circ\text{C}$.

I – intenzita přímé a difúzní sluneční radiace dopadající na stěnu [W.m^{-2}]

$$I = I_D + I_d \text{ [W.m}^{-2}] \quad (6.22)$$

$$I = I_D + I_d = 0 + 166,75 = 166,75 \text{ W.m}^{-2}$$

ε – součinitel poměrné tepelné pohltivosti pro sluneční radiaci [-]

Dle ČSN 73 0548 pro neprůsvitné sklo (povrch lehkých stěn) je $\varepsilon = 0,7$, pro omítky středně tmavé barvy (povrch středně těžkých a těžkých stěn) je $\varepsilon = 0,7$.

α_e – součinitel přestupu tepla na vnější straně stěny [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
Dle ČSN 73 0548 je $\alpha_e = 15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

$$t_r = t_e + \frac{\varepsilon \cdot I}{\alpha_e} = 27,9 + \frac{0,7 \cdot 166,75}{15} = 35,68 \text{ } ^\circ\text{C}$$

b) Prostup tepla pro stěny lehké (tloušťka stěny δ do 0,08 m) (6.23)

$$Q_s = U \cdot S \cdot (t_r - t_i) \text{ [W]}$$

U – součinitel prostupu tepla stěnou [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

$$U = 0,95 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

S – plocha stěny [m^2]

$$S = 2,1 \cdot 0,5 \cdot 4 + 2,1 \cdot 0,125 = 4,46 \text{ m}^2$$

t_i – teplota klimatizované místnosti [$^\circ\text{C}$]

Dle ČSN 73 0548 je $t_i = 26 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$$Q_s = U \cdot S \cdot (t_r - t_i) = 0,95 \cdot 4,46 \cdot (35,68 - 26) = 41 \text{ W}$$

c) Prostup tepla pro stěny středně těžké (tloušťka stěny δ od 0,08 do 0,45 m) (6.24)

$$Q_s = U \cdot S \cdot [(t_{rm} - t_i) + m \cdot (t_{r\Phi} - t_{rm})] \text{ [W]}$$

U – součinitel prostupu tepla stěnou [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

$$U = 1,33 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

S – plocha stěny [m^2]

$$S = 10,2 \cdot 1 + 10,2 \cdot 0,3 = 13,26 \text{ m}^2$$

t_{rm} – průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin [$^\circ\text{C}$]

Dle ČSN 73 0548 je $t_{rm} = 27^\circ\text{C}$.

$t_{r\Phi}$ – rovnocenná sluneční teplota v době o Φ hodin dříve [$^\circ\text{C}$]

Dle ČSN 73 0548 je $t_{r\Phi} = 16,9^\circ\text{C}$.

$$\Phi \doteq 32 \cdot \delta - 0,5 \text{ [h]} \quad (6.25)$$

δ – tloušťka stěny [m]

$$\delta = 0,355 \text{ m}$$

$$\Phi \doteq 32 \cdot \delta - 0,5 = 32 \cdot 0,355 - 0,5 = 10,86 \text{ h}$$

m – součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu tepla stěnou [-]

$$m \doteq \frac{1 + 7,6 \cdot \delta}{2500^\delta} \text{ [-]} \quad (6.26)$$

$$m \doteq \frac{1 + 7,6 \cdot \delta}{2500^\delta} = \frac{1 + 7,6 \cdot 0,355}{2500^{0,355}} = 0,23$$

$$Q_s = U \cdot S \cdot [(t_{rm} - t_i) + m \cdot (t_{r\Phi} - t_{rm})] = 1,33 \cdot 13,26 \cdot [(27 - 26) + 0,23 \cdot (16,9 - 27)] = -23,33 \text{ W}$$

Pokud je hodnota Q_s záporná, jedná se o tepelnou ztrátu, kterou zanedbáváme.

d) Prostup tepla pro stěny těžké (tloušťka stěny δ od 0,45 m) (6.27)

$$Q_s = U \cdot S \cdot (t_{rm} - t_i) \text{ [W]}$$

U – součinitel prostupu tepla stěnou [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

S – plocha stěny [m^2]

t_{rm} – průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin [°C]

Dle ČSN 73 0548 je $t_{rm} = 27^\circ\text{C}$.

t_i – teplota klimatizované místnosti [°C]

Dle ČSN 73 0548 je $t_i = 26^\circ\text{C}$.

Místnost, pro kterou je prováděn ukázkový výpočet, nemá těžké stěny.

Vzhledem k zanedbatelnému vlivu tepelných zisků obvodových stěn na celkovou tepelnou zátěž nebude prováděn výpočet tepelného zisku stěnami.

Tepelné zisky infiltrací venkovního vzduchu

Dle ČSN 73 0548 [13] se v letních měsících při maximálních teplotách vnikání vzduchu nápořem větru do klimatizovaných prostorů neuvažuje.

Tepelné zisky přirozeným větráním okny

Protože v klimatizovaných prostorech nebude zajištěna nucená výměna vzduchu, je nutné zohlednit tepelné zisky vzniklé při větrání okny.

a) Průtok vzduchu oknem dle [1]

$$M_{vz} = i \cdot b \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_i) \cdot h^3 \cdot \rho_e} \cdot \sqrt{\frac{\rho_i}{(\sqrt[3]{\rho_e} + \sqrt[3]{\rho_i})^3}} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (6.28)$$

i – počet otevřených oken [-]

$i = 3$

b – šířka okna [m]

$b = 1,4 \text{ m}$

h – výška okna [m]

$h = 2,1 \text{ m}$

g – tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

ρ_e – hustota venkovního vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Ukázkový výpočet je pro 12:00 hodin, kdy je $\rho_e = 1,125 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

ρ_i – hustota vnitřního vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

$\rho_i = 1,133 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$$\begin{aligned} M_{vz} &= i \cdot b \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_i) \cdot h^3 \cdot \rho_e} \cdot \sqrt{\frac{\rho_i}{(\sqrt[3]{\rho_e} + \sqrt[3]{\rho_i})^3}} = \\ &= 3 \cdot 1,4 \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (1,125 - 1,133) \cdot 2,1^3 \cdot 1,125} \cdot \sqrt{\frac{1,133}{(\sqrt[3]{1,125} + \sqrt[3]{1,133})^3}} = 0,9 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

b) Kontrola intenzity výměny vzduchu

$$n_{50} = \frac{M_{vz}}{\rho_e} \cdot 3600 \cdot \frac{1}{V} \quad [\text{h}^{-1}] \quad (6.29)$$

ρ_e – hustota venkovního vzduchu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

Ukázkový výpočet je pro 12:00 hodin, kdy dle teploty venkovního vzduchu je

$$\rho_e = 1,125 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}.$$

V – objem místnosti [m^3]

$$V = 10,7 \cdot 6,9 \cdot 3,4 = 251 \text{ m}^3$$

$$n_{50} = \frac{M_{vz}}{\rho_e} \cdot 3600 \cdot \frac{1}{V} = \frac{0,9}{1,125} \cdot 3600 \cdot \frac{1}{251} = 11,49 \text{ h}^{-1}$$

Dle [1] je doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu pro přirozené větrání alespoň $n_{50, N} = 4,5 \text{ h}^{-1}$. Výměna vzduchu je tedy dostačující.

c) Tepelné zisky přirozeným větráním okny

$$Q_v = M \cdot c_{vz} \cdot (t_e - t_i) \text{ [W]} \quad (6.30)$$

c_{vz} – měrná tepelná kapacita vzduchu [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

$$c_{vz} = 1010 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

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

Ukázkový výpočet je pro 12:00 hodin, kdy dle ČSN 73 0548 je $t_e = 27,9^{\circ}\text{C}$.

t_i – teplota klimatizované místnosti [$^{\circ}\text{C}$]

Dle ČSN 73 0548 je $t_i = 26^{\circ}\text{C}$.

$$Q_v = M \cdot c_{vz} \cdot (t_e - t_i) = 0,9 \cdot 1010 \cdot (27,9 - 26) = 1729,4 \text{ W}$$

Tabulky výpočtu tepelných zisků přirozeným větráním okny a kontrola intenzity výměny vzduchu pro každou hodinu provozu jsou uvedeny v Příloze P1.

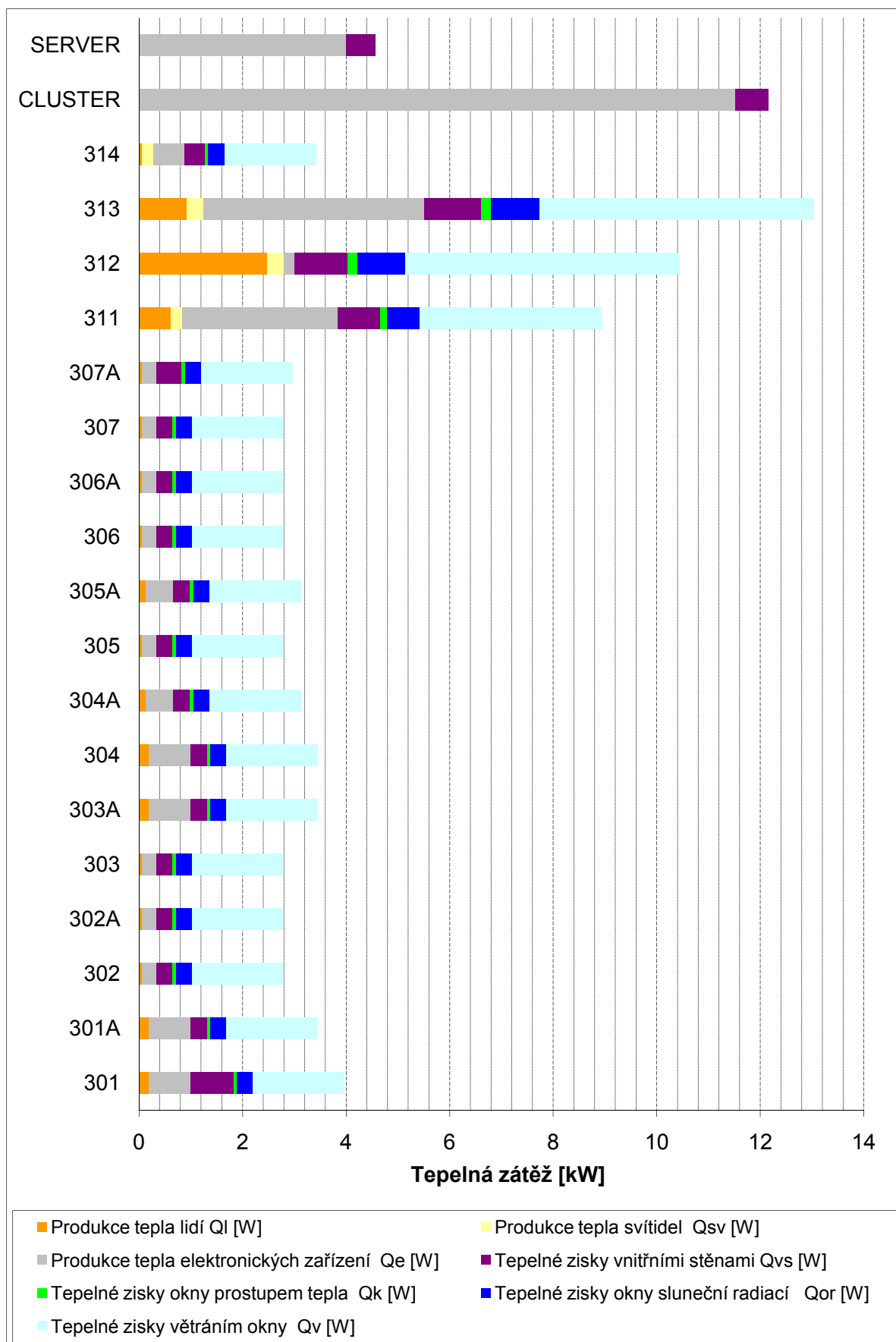
6.3 Celková tepelná zátěž místností

Součtem všech dílčích tepelných zisků místnosti je získána celková tepelná zátěž místnosti. Protože byl proveden výpočet pro každou hodinu provozu, je nutné vyhodnotit okamžitou celkovou tepelnou zátěž v každé hodině provozu Q_r s ohledem na časovou podmíněnost některých zdrojů tepla (např. tepelné zisky okny). Rozhodující vliv na tepelnou zátěž má chování uživatele při větrání okny. Proto je vyhodnocena maximální celková tepelná zátěž pro případ, kdy se okna větrá $Q_{1,max}$ i pro případ, kdy jsou okna zavřená $Q_{2,max}$. Jako výsledná hodnota celkové tepelné zátěže místnosti je pak vyšší celková tepelná zátěž Q z těchto dvou hodnot, resp. Q je minimální potřebný chladicí výkon klimatizační jednotky.

Výpočtem bylo zjištěno, že nejnejpříznivější stav ve všech místnostech bude v 15:00 slunečního času, tzn. v 16:00 SELČ. V tuto dobu je ve všech místnostech nejvyšší celková tepelná zátěž, na kterou bude dimenzováno klimatizační zařízení. Hodnoty celkové tepelné zátěže pro všechny místnosti jsou uvedeny v tab. 6.1. Podíl složek na celkové tepelné zátěži místností je graficky znázorněn na obr. 6.1.

Tab. 6.1 Tepelná zátěž místností

Místnost	Produkce tepla lidí Q_l [W]	Produkce tepla svítidel Q_{sv} [W]	Produkce tepla elektronických zařízení Q_e [W]	Tepelné zisky vnitřními stěnami Q_{vs} [W]	Tepelné zisky okny prostupem tepla Q_k [W]	Tepelné zisky okny sluneční radiací Q_{or} [W]	Tepelné zisky větráním okny Q_v [W]	Celková tepelná zátěž místnosti Q [W]
301	186	0	810	827	68	308	1764	3554
301A	186	0	810	317	68	308	1764	3454
302	62	0	270	317	68	308	1764	2790
302A	62	0	270	317	68	308	1764	2790
303	62	0	270	317	68	308	1764	2790
303A	186	0	810	317	68	308	1764	3454
304	186	0	810	317	68	308	1764	3454
304A	124	0	540	317	68	308	1764	3122
305	62	0	270	317	68	308	1764	2790
305A	124	0	540	317	68	308	1764	3122
306	62	0	270	317	68	308	1764	2790
306A	62	0	270	317	68	308	1764	2790
307	62	0	270	317	68	308	1764	2790
307A	62	0	270	489	68	308	1764	2962
311	620	216	3000	827	136	617	3529	8945
312	2480	324	200	1019	205	925	5293	10447
313	930	324	4250	1103	205	925	5293	13030
314	62	216	600	394	68	308	1764	3413
Cluster	0	0	11520	637	0	0	0	12157
Server	0	0	4000	563	0	0	0	4563



Obr. 6.1: Podíl složek na celkové tepelné zátěži jednotlivých místností 21.7. v 16:00 SELČ

7 NÁVRH KLIMATIZAČNÍHO ZAŘÍZENÍ

Pro ukázkový návrh klimatizačních jednotek byly použity podklady poskytnuté firmou Impromat CZ, spol. s r.o., pobočka Brno. Tato firma je oficiálním zástupcem firmy FUJITSU a má výhradní zastoupení firmy DANTHERM HMS v České republice.

Klimatizační zařízení se bude skládat ze tří samostatných klimatizačních systémů. Pro klimatizování učeben a kanceláří bude navržen systém VRV s 18-ti vnitřními jednotkami a společnou venkovní jednotkou. Druhý systém bude sloužit pro klimatizaci místnosti Server a bude se skládat z jedné jednotky přesné klimatizace. Třetí systém bude sloužit pro klimatizaci místnosti Cluster a bude se skládat z jedné jednotky přesné klimatizace.

7.1 Návrh klimatizačních jednotek VRV systému

Navržené zařízení je od firmy Fujitsu s obchodním názvem systému VRF-V. Pro návrh vnitřních a venkovních klimatizačních jednotek byl použit poskytnutý návrhový program, který je oficiálně dodávaným programem pro návrh klimatizace firmy Fujitsu. Výhodou tohoto programu je uvádění chladicího výkonu jednotek pro libovolně zadané teploty venkovního vzduchu a teploty vzduchu v klimatizované místnosti. Díky tomu lze návrh optimalizovat pro podmínky, za kterých byla vypočtena nejvyšší celková tepelná zátěž klimatizovaných místností.

Navržená vnitřní jednotka musí mít při výpočtových parametrech chladicí výkon CC [kW] vždy větší, než je celková tepelná zátěž Q [W] místnosti. Navržené vnitřní jednotky jsou uvedeny v tab. 7.2.

Tab. 7.2: Navržené vnitřní jednotky pro VRV systém

Místnost	Q [W]	Typ jednotky	Model jednotky (+ expanzní ventil)	CC [kW]
301	3554	nástěnná	ASYE12LACF+UTR-EV14XA	3,6
301A	3454	nástěnná	ASYE12LACF+UTR-EV14XA	3,6
302	2790	nástěnná	ASYE12LACF+UTR-EV14XA	3,6
302A	2790	nástěnná	ASYE12LACF+UTR-EV14XA	3,6
303	2790	nástěnná	ASYE12LACF+UTR-EV14XA	3,6
303A	3454	nástěnná	ASYE12LACF+UTR-EV14XA	3,6
304	3454	nástěnná	ASYE12LACF+UTR-EV14XA	3,6
304A	3122	nástěnná	ASYE12LACF+UTR-EV14XA	3,6
305	2790	nástěnná	ASYE12LACF+UTR-EV14XA	3,6
305A	3122	nástěnná	ASYE12LACF+UTR-EV14XA	3,6
306	2790	nástěnná	ASYE12LACF+UTR-EV14XA	3,6
306A	2790	nástěnná	ASYE12LACF+UTR-EV14XA	3,6
307	2790	nástěnná	ASYE12LACF+UTR-EV14XA	3,6
307A	2962	nástěnná	ASYE12LACF+UTR-EV14XA	3,6
311	8945	podstropní	ABYA36LATF	10,5
312	10447	podstropní	ABYA45LATF	12,7
313	13030	podstropní	ABYA54LATF	14,1
314	3413	nástěnná	ASYE12LACF+UTR-EV14XA	3,6

Jak je uvedeno v tab. 7.2, je navrženo 10 nástěnných jednotek typu ASYE12LACF (obr. 7.1), pro které je nutné dodatečně nainstalovat expanzní ventily typu UTR-EV14XA a podstropní jednotky typu ABYA36LATF, ABYA45LATF a ABYA54LATF (obr. 7.2) po jednom kusu, které již expanzní ventily obsahují. Všechny jednotky jsou vybaveny nastavitelnými usměrňovacími lamelami. Ke všem jednotkám bude dodán bezdrátový

dálkový ovladač. Podstropní jednotky v učebnách byly zvoleny pro jejich delší dosah proudu, než jakým disponují nástěnné jednotky. Dosahy proudu navržených jednotek jsou znázorněny v Příloze P2. Katalogové listy vnitřních jednotek s jejich rozměry jsou v Příloze P3.



Obr. 7.1: Nástěnná vnitřní jednotka Fujitsu typu ASYE



Obr. 7.2: Podstropní vnitřní jednotka Fujitsu typu ABYA

Výkon venkovní jednotky bude navržen aspoň na 80% součtu maximálních chladících výkonů všech připojených vnitřních jednotek, protože není předpokládán současný chod na plný výkon všech vnitřních jednotek. Navrženou venkovní jednotkou je tedy sestava dvou jednotek typu AJ126. Návrhové údaje jsou v tab. 7.3.

Tab. 7.3: Navržená venkovní jednotka VRV systému

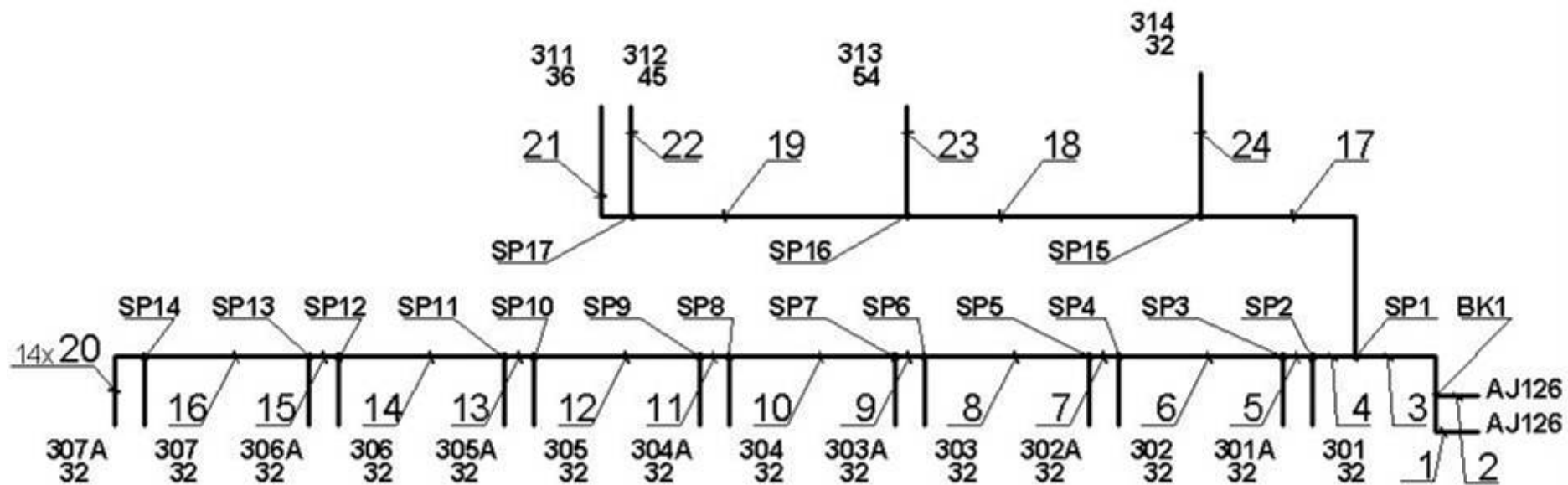
Systém	ΣCC [kW]	Typ jednotky	Model jednotky	CC [kW]
VRV systém	91,3	AJ126	AJYA126LATF + AJYA126UATF	80

V sestavě je jedna řídicí jednotka vybavena jedním kompresorem s plynulou regulací otáček, ostatní kompresory jsou s fixními otáčkami. Modelové označení řídicí jednotky je AJYA126LATF. Druhá jednotka je řízená a obsahuje pouze kompresory s fixními otáčkami. Modelové označení řízené jednotky je AJYA126UATF. Katalogové listy venkovních jednotek s jejich rozměry jsou v Příloze P3.

7.2 Návrh chladivového potrubí VRV systému

Návrh průměrů potrubí je proveden podle poskytnutých podkladů firmy Impromat CZ, spol. s r.o., pobočka Brno [15].

Návrh zahrnuje dimenze rozboček a vlastního potrubí pro zařízení Fujitsu. Dimenze vnitřního chladivového potrubí a vnitřních rozboček se určuje podle součtu výkonových čísel jednotek, které jsou potrubím nebo rozbočkou obsluhovány. Výkonové číslo je uvedeno v modelovém označení jednotky. Dimenze venkovního chladivového potrubí a venkovních rozboček se určuje podle zvolené venkovní jednotky.



Obr. 7.3: Schéma VRV systému pro návrh rozboček a potrubí s čísly úseků (1 až 24), označením rozboček (BK1 a SP1 až SP17), čísly místností (301 až 314) a výkonovými čísly jednotek (venkovní jednotky AJ, vnitřní bez označení).

Schéma pro návrh rozboček a potrubí VRV systému je na obr. 7.3. Navržené velikosti chladivového potrubí mezi venkovní jednotkou a venkovní rozbočkou jsou uvedeny v tab. 7.4. Navržené velikosti chladivového potrubí mezi venkovními rozbočkami a venkovní rozbočkou a první vnitřní rozbočkou jsou uvedeny v tab. 7.5. Navržené velikosti chladivového potrubí mezi vnitřními rozbočkami jsou uvedeny v tab. 7.6. Navržené velikosti chladivového potrubí mezi vnitřní jednotkou a vnitřní rozbočkou jsou uvedeny v tab. 7.7. Navržené velikosti olejového potrubí mezi venkovními jednotkami jsou uvedeny v tab. 7.8.

Tab. 7.4: Navržené velikosti chladivového potrubí mezi venkovní jednotkou a venkovní rozbočkou

Úsek	Délka [m]	Výkonové číslo	Průměr kapalinového potrubí [mm]	Průměr plynového potrubí [mm]
1	2,6	126	12	28
2	1,2	126	12	28

Tab. 7.5: Navržené velikosti chladivového potrubí mezi venkovními rozbočkami a venkovní rozbočkou a první vnitřní rozbočkou

Úsek	Délka [m]	Výkon [HP]	Průměr kapalinového potrubí [mm]	Průměr plynového potrubí [mm]
3	9,3	28	16	35

Tab. 7.6: Navržené velikosti chladivového potrubí mezi vnitřními rozbočkami

Úsek	Délka [m]	Výkonové číslo	Průměr kapalinového potrubí [mm]	Průměr plynového potrubí [mm]
4	0,2	168	16	28
5	0,2	156	12	28
6	7	144	12	28
7	0,2	132	12	28
8	7	120	12	28
9	0,2	108	12	28
10	7	96	12	28
11	0,2	84	12	22
12	7	72	12	22
13	0,2	60	12	22
14	7	48	10	18
15	0,2	36	10	18
16	7	24	10	16
17	8,9	147	12	28
18	11	135	12	28
19	11,3	81	12	22

Tab. 7.7: Navržené velikosti chladičového potrubí mezi vnitřními jednotkami a vnitřními rozbočkami

Úsek	Délka [m]	Výkonové číslo	Průměr kapalinového potrubí [mm]	Průměr plynového potrubí [mm]
20	3,2	12	6	12
21	4,7	36	10	18
22	4,7	45	10	18
23	4,7	54	10	18
24	5,9	12	6	12

Tab. 7.8: Navržené velikosti olejového potrubí mezi venkovními jednotkami

Úsek	Délka [m]	Průměr potrubí [mm]
25	2	6

Dispozice VRV systému nesmí překročit mezní povolené vzdálenosti předepsané výrobcem, tj.:

- Mezi venkovní řídicí jednotkou a nejvzdálenější vnitřní jednotkou délka potrubí menší než 150 metrů,
- Mezi první vnitřní rozbočkou a nejvzdálenější vnitřní jednotkou délka potrubí menší než 60 metrů,
- Celková délka potrubí nepřesáhne 300 metrů,
- Mezi venkovní jednotkou a venkovní rozbočkou délka potrubí menší než 3 metry,
- Mezi nejvyšší venkovní jednotkou a nejnižší vnitřní jednotkou výškový rozdíl menší než 50 metrů, pokud je venkovní jednotka umístěna nad vnitřní,
- Mezi nejnižší venkovní jednotkou a nejvyšší vnitřní jednotkou výškový rozdíl menší než 40 metrů, pokud je venkovní jednotka umístěna pod vnitřní,
- Mezi nejvyšší a nejnižší vnitřní jednotkou výškový rozdíl menší než 15 metrů,
- Mezi nejvyšší a nejnižší venkovní jednotkou výškový rozdíl menší než 0,5 metrů.

Výsledky kontroly mezních vzdáleností jsou uvedeny v tab. 7.9.

Tab. 7.9: Kontrola mezních povolených vzdáleností předepsaných výrobcem

Podmínka	Úseky	Celková vzdálenost [m]	Mezní vzdálenost [m]	Stav
a)	2...16, 20	56,7	150	vyhovuje
b)	4...16, 20	46,2	60	vyhovuje
c)	1...24	293,8	300	vyhovuje
d)	1	2,6	3	vyhovuje
d)	2	1,2	3	vyhovuje
e)	-	3,4	50	vyhovuje
g)	-	0,5	15	vyhovuje
h)	-	0	0,5	vyhovuje

Navržené velikosti venkovních rozboček jsou uvedeny v tab. 7.10. Navržené velikosti vnitřních rozboček jsou uvedeny v tab. 7.11.

Tab. 7.10: Navržené velikosti venkovních rozboček

Označení	Počet jednotek	Model rozbočky
BK1	2	UTR-CP567L

Tab. 7.11: Navržené velikosti vnitřních rozboček

Označení	Výkonové číslo	Model rozbočky
SP1	315	UTR-BP567L
SP2	168	UTR-BP180L
SP3	156	UTR-BP180L
SP4	144	UTR-BP180L
SP5	132	UTR-BP180L
SP6	120	UTR-BP180L
SP7	108	UTR-BP180L
SP8	96	UTR-BP180L
SP9	84	UTR-BP090L
SP10	72	UTR-BP090L
SP11	60	UTR-BP090L
SP12	48	UTR-BP090L
SP13	36	UTR-BP090L
SP14	24	UTR-BP090L
SP15	147	UTR-BP180L
SP16	135	UTR-BP180L
SP17	81	UTR-BP090L

7.3 Výpočet potřebného množství chladiva VRV systému

Výpočet množství chladiva je proveden podle poskytnutých podkladů firmy Impromat CZ, spol. s r.o., pobočka Brno [15].

Množství chladiva získáme z následujícího vztahu:

$$C = l_{DN18} \cdot 0,268 + l_{DN16} \cdot 0,178 + l_{DN12} \cdot 0,114 + l_{DN10} \cdot 0,058 + l_{DN6} \cdot 0,021 \text{ [kg]} \quad (7.1)$$

l_{DN18} – celková délka kapalinového potrubí o světlosti DN 18 [m]

l_{DN16} – celková délka kapalinového potrubí o světlosti DN 16 [m]

l_{DN12} – celková délka kapalinového potrubí o světlosti DN 12 [m]

l_{DN10} – celková délka kapalinového potrubí o světlosti DN 10 [m]

l_{DN6} – celková délka kapalinového potrubí o světlosti DN 6 [m]

Tab. 7.12: Délky potrubí s kapalným chladivem

DN [mm]	Celková délka potrubí [m]
6	45,1
10	28,3
12	64
16	9,5
18	0

Pro výpočet množství chladiva musíme znát celkové délky potrubí všech světlostí, kterými proudí kapalně chladivo. Délky potrubí s kapalným chladivem jsou uvedeny v tab. 7.12.

$$C = l_{DN18} \cdot 0,268 + l_{DN16} \cdot 0,178 + l_{DN12} \cdot 0,114 + l_{DN10} \cdot 0,058 + l_{DN6} \cdot 0,021 =$$

$$= 0 \cdot 0,268 + 9,5 \cdot 0,178 + 64 \cdot 0,114 + 28,3 \cdot 0,058 + 45,1 \cdot 0,021 = 11,6 \text{ kg}$$

V jednotkách Fujitsu se používá ekologické chladivo R410a. Jako potřebné množství chladiva je myšleno takové množství, které je nutno napustit do soustavy po její instalaci. Do tohoto množství se nepočítá chladivo, které je obsaženo v již naplněných venkovních jednotkách. Jedna jednotka typu AJ126 je předplněna 15,5 kg chladiva. Celkové množství chladiva, které bude pracovat v soustavě, je tedy 42,6 kg. Z toho musí být do soustavy doplněno přibližně 11,6 kg chladiva R410a.

7.4 Kalkulace ceny zařízení VRV systému

Pro kalkulaci ceny byly využity poskytnuté ceníky firmy Impromat CZ, spol. s r.o., pobočka Brno [16]. Níže uvedené ceny obsahují zařízení, jeho příslušenství, chladivové měděné potrubí a izolaci a potrubí pro odvod kondenzátu. Neobsahují práci, dopravu materiálu a pracovníků, spotřební materiál, elektroinstalační materiál a DPH.

Cena za klimatizační zařízení pro VRV systém je uvedena v tab. 7.13. Ceny potrubí a měděných tvarovek jsou převzaty z internetového zdroje [17] a jsou platné pro rok 2008. Ceny izolací jsou převzaty z internetového zdroje [18] a jsou platné pro rok 2008.

7.5 Porovnání zařízení firmy Fujitsu s nabídkou jiných výrobců

Pro porovnávání zařízení byli dále vybráni tito dodavatelé:

- GEA Klimatizace spol. s r. o., výrobce MITSUBISHI
- NEPA, spol. s r.o., výrobce SINCLAIR
- Carrier Transicold Česká Republika spol. s r.o., výrobce TOSHIBA

VRV systém výrobce Mitsubishi je jedinečný tím, že pro rozbočení potrubí nejsou potřeba žádné speciální tvarovky, ale používají se běžné měděné T-kusy. To zjednoduší a zlevní instalaci. Z toho důvodu bylo i u tohoto zařízení provedeno nadimenzování potrubí podle podkladů poskytnutých firmou GEA Klimatizace spol. s r. o. tak, aby bylo možné porovnat cenu VRV systémů Mitsubishi a Fujitsu. Cenový rozbor VRV systému od firmy GEA Klimatizace spol. s r. o. je uveden v tab. 7.14. Rozbor obsahuje ceny zařízení, jeho příslušenství, chladivové měděné potrubí a izolaci a potrubí pro odvod kondenzátu. Neobsahují práci, dopravu materiálu a pracovníků, spotřební materiál, elektroinstalační materiál a DPH. Porovnání ceny obou systémů naleznete v tab. 7.15.

Jak je patrné z tab. 7.15, celková cena klimatizačních jednotek značky Mitsubishi a jejich příslušenství je téměř dvojnásobná než cena jednotek a příslušenství značky Fujitsu. I když cena potrubí pro systém Mitsubishi je čtvrtinová než u systému Fujitsu, a to hlavně díky absenci speciálních rozboček, celková cena celého VRV systému Mitsubishi je o polovinu vyšší než cena VRV systému Fujitsu. V obou případech se jedná o výrobce špičkové klimatizační techniky.

Porovnání s ostatními výrobci bude provedeno pouze na základě cen vnitřních a venkovních klimatizačních jednotek a dodávaného příslušenství (rozbočky, dálkové ovladače apod.), pokud byly ceny příslušenství dostupné. Porovnání je uvedeno v tab. 7.16. Získané nabídky dodavatelů jsou v Příloze P4.

Tab. 7.13: Cena za klimatizační zařízení VRV systému Fujitsu

Číslo	Položka	Počet	MJ	Jednotková cena	Celkem bez DPH
AJY126LATF	venkovní jednotka, chladí/topí, řídicí	1	ks	203 100,0	203 100,0 Kč
AJY126UATF	venkovní jednotka, chladí/topí, řízená	1	ks	182 800,0	182 800,0 Kč
ASYE12LACF	vnitřní nástěnná jednotka	15	ks	16 000,0	240 000,0 Kč
ABYA36LATF	vnitřní podstropní jednotka	1	ks	37 700,0	37 700,0 Kč
ABYA45LATF	vnitřní podstropní jednotka	1	ks	43 200,0	43 200,0 Kč
ABYA54LATF	vnitřní podstropní jednotka	1	ks	52 200,0	52 200,0 Kč
	Klimatizační jednotky celkem				759 000,0 Kč
UTR-EV14XA	expansní ventil	15	ks	1 000,0	15 000,0 Kč
UTB-YVB	bezdrátový ovladač - VRF-V,S	18	ks	2 400,0	43 200,0 Kč
	chladiivo R410a	11	kg	200,0	2 200,0 Kč
	Příslušenství celkem				60 400,0 Kč
UTR-BP567L	rozdělovač - VRF-V	2	ks	1 800,0	3 600,0 Kč
UTR-BP180L	rozdělovač - VRF-V	18	ks	2 300,0	41 400,0 Kč
UTR-BP090L	rozdělovač - VRF-V	14	ks	5 400,0	75 600,0 Kč
UTR-CP567L	rozdělovač pro venkovní jednotku	2	ks	7 400,0	14 800,0 Kč
	Měděné potrubí DN 6 x 0,8mm + izolace 6mm	45,1	m	43,8	1 975,4 Kč
	Měděné potrubí DN 10 x 0,8mm + izolace 6mm	28,3	m	66,1	1 870,6 Kč
	Měděné potrubí DN 12 x 0,8mm + izolace 6mm	109,1	m	87,9	9 589,9 Kč
	Měděné potrubí DN 16 x 1,0mm + izolace 6mm	16,5	m	119,6	1 973,4 Kč
	Měděné potrubí DN 18 x 1,2mm + izolace 6mm	21,3	m	131,3	2 796,7 Kč
	Měděné potrubí DN 22 x 1,0mm + izolace 6mm	18,7	m	153,4	2 868,6 Kč
	Měděné potrubí DN 28 x 1,0mm + izolace 6mm	45,5	m	230,0	10 465,0 Kč
	Měděné potrubí DN 42 x 1,5mm + izolace 6mm	9,3	m	261,6	2 432,9 Kč
	Měděný oblouk 90° DN 12	65	ks	15,3	994,5 Kč
	Měděný oblouk 90° DN 16	3	ks	8,7	26,1 Kč
	Měděný oblouk 90° DN 18	15	ks	19,5	292,5 Kč
	Měděný oblouk 90° DN 28	4	ks	64,8	259,2 Kč
	Měděný oblouk 90° DN 35	3	ks	186,9	560,7 Kč
	Potrubí pro odvod kondenzátu	115	m	42,0	4 830,0 Kč
	Potrubí celkem				176 335,5 Kč

CENA CELKEM	995 735,5 Kč
--------------------	---------------------

Tab. 7.14: Cena VRV systému Mitsubishi od firmy GEA Klimatizace spol. s r. o.

Číslo	Položka	Počet	MJ	Jednotková cena	Celkem bez DPH
PUHY-P650-G-YHM-A	Venkovní kondenzační jednotka	1	ks	729 549,0	729 549,0 Kč
PKFY-P32-G-VGM-E	Vnitřní nástěnná jednotka	15	ks	31 827,0	477 405,0 Kč
PCFY-P100-G-VGM-E	Vnitřní podstropní jednotka	2	ks	73 851,0	147 702,0 Kč
PCFY-P125-G-VGM-E	Vnitřní podstropní jednotka	1	ks	85 593,0	85 593,0 Kč
	Klimatizační jednotky celkem				1 440 249,0 Kč
PAR-FL32MA/ FA32MA	Infraovladač s přijímačem	18	ks	5 974,0	107 532,0 Kč
	chladiivo R410a	15,5	kg	200,0	3 100,0 Kč
	Příslušenství celkem				110 632,0 Kč
	Měděné potrubí DN 6 x 0,8mm + izolace 6mm	45,1	m	43,8	1 975,4 Kč
	Měděné potrubí DN 10 x 0,8mm + izolace 6mm	74,1	m	66,1	4 898,0 Kč
	Měděné potrubí DN 12 x 0,8mm + izolace 6mm	59,3	m	87,9	5 212,5 Kč
	Měděné potrubí DN 16 x 1,0mm + izolace 6mm	29,9	m	119,6	3 576,0 Kč
	Měděné potrubí DN 18 x 1,2mm + izolace 6mm	27,8	m	131,3	3 650,1 Kč
	Měděné potrubí DN 22 x 1,0mm + izolace 6mm	27,3	m	153,4	4 187,8 Kč
	Měděné potrubí DN 28 x 1,0mm + izolace 6mm	15,8	m	230,0	3 634,0 Kč
	Měděné potrubí DN 42 x 1,5mm + izolace 6mm	9,3	m	371,0	3 450,3 Kč
	Měděný oblouk 90° DN 12	61	ks	15,3	933,3 Kč
	Měděný oblouk 90° DN 16	15	ks	8,7	130,5 Kč
	Měděný oblouk 90° DN 18	4	ks	19,5	78,0 Kč
	Měděný oblouk 90° DN 22	2	ks	24,5	49,0 Kč
	Měděný oblouk 90° DN 42	4	ks	269,4	1 077,6 Kč
	Měděné tvarovky - T kusy (kumulativně)	34	ks	60,0	2 040,0 Kč
	Potrubí pro odvod kondenzátu	115	m	42,0	4 830,0 Kč
	Potrubí celkem				39 722,6 Kč

CENA CELKEM	1 590 603,6 Kč
--------------------	-----------------------

Tab. 7.15: Cenové srovnání klimatizačního VRV systému Fujitsu a Mitsubishi

FUJITSU		MITSUBISHI	
Položka	Cena bez DPH	Položka	Cena bez DPH
Klimatizační jednotky celkem	759 000,0 Kč	Klimatizační jednotky celkem	1 440 249,0 Kč
Příslušenství celkem	60 400,0 Kč	Příslušenství celkem	110 632,0 Kč
Potrubí celkem	176 335,5 Kč	Potrubí celkem	39 722,6 Kč
CENA CELKEM	995 735,5 Kč	CENA CELKEM	1 590 603,6 Kč

Tab. 7.16: Porovnání cen VRV systémů různých výrobců

Výrobce	Venkovní jednotky	Vnitřní jednotky	Příslušenství	Celkem bez DPH
Fujitsu	385 900,0 Kč	373 100,0 Kč	193 600,0 Kč	952 600,0 Kč
Mitsubishi	729 549,0 Kč	710 700,0 Kč	107 532,0 Kč	1 547 781,0 Kč
Sinclair	598 318,0 Kč	277 050,0 Kč	111 072,0 Kč	986 440,0 Kč
Toshiba	803 400,0 Kč	584 740,0 Kč	100 880,0 Kč	1 489 020,0 Kč

7.6 Návrh klimatizačních jednotek přesné klimatizace

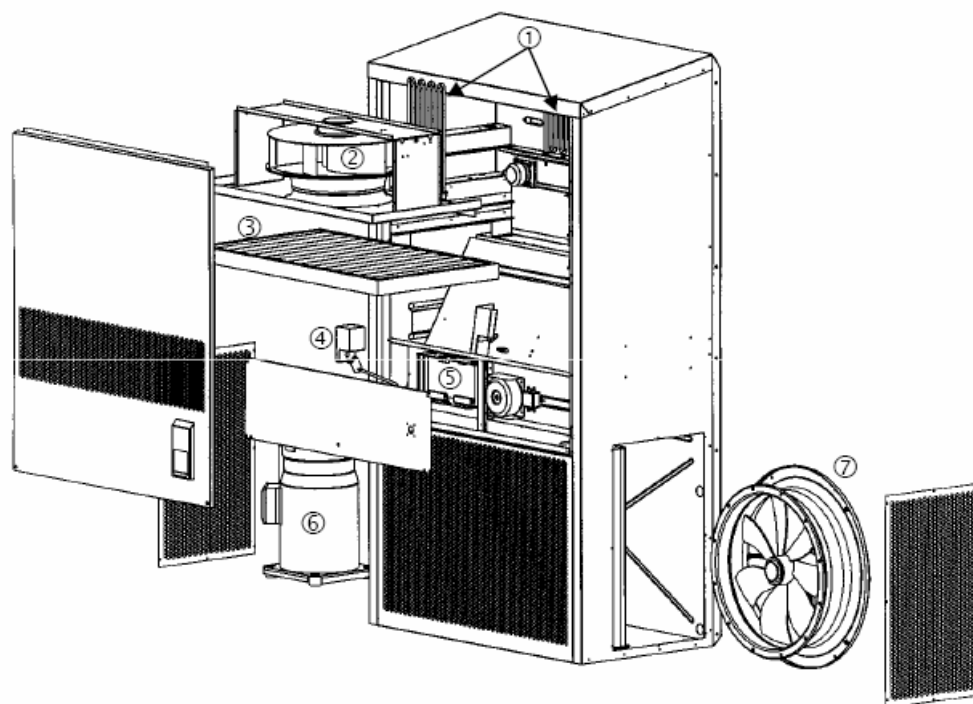
Navržené zařízení je od firmy Dantherm HMS. Pro návrh klimatizačních jednotek byly použity materiály od firmy Impromat CZ, spol. s r. o. [16]. Navržená jednotka musí mít při výpočtových parametrech chladicí výkon CC [kW] vždy větší, než je celková tepelná zátěž Q [W] místnosti. Navržené vnitřní jednotky jsou uvedeny v tab. 7.17.

Tab. 7.17: Navržené jednotky pro přesnou klimatizaci

Místnost	Q [W]	Typ jednotky	Model jednotky	CC [kW]
Cluster	12157	nástěnná	DANTHERM ESCALADE 14.1 II	13,4
Server	4563	nástěnná	DANTHERM ESCALADE 5.8 II	5,3



Obr. 7.4: Jednotka přesné klimatizace Dantherm modelové řady Escalade



Obr. 7.5: Části jednotky Dantherm modelové řady Escalade, 1 – topná jednotka, 2 – přívodní radiální ventilátor, 3 – filtr, 4 – zvlhčovač, 5 – kontrolní panel, 6 – kompresor, 7 – odsávací axiální ventilátor kondenzátoru

Navržené jednotky Dantherm Escalade II se instalují na svislou obvodovou stěnu. Byly vybrány proto, že v interiéru není dostatek místa pro jejich umístění. Jejich venkovní instalace také sníží hladinu hluku z těchto jednotek, která by se projevila ve vnitřním prostoru. Jednotky jsou vybaveny funkcí „Free cooling“ pro úsporu elektrické energie, umožňují uzavřenou cirkulaci vzduchu a bezpečnostní chlazení. Navržené jednotky umožňují řízení teploty s přesností $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a řízení relativní vlhkosti s přesností $\pm 5\%$. Jednotka Dantherm Escalade je zobrazena na obr. 7.4. Části jednotky Dantherm Escalade jsou zobrazeny na obr. 7.5. Přesnější technické údaje jsou uvedeny v Příloze P3.

7.7 Návrh vzduchotechnického potrubí pro přesnou klimatizaci

Protože jednotky přesné klimatizace nelze instalovat přímo na hranici klimatizované místnosti, je zapotřebí navrhnout potrubí pro přívod a odvod vzduchu. Při návrhu potrubní trasy byla snaha o co nejkratší dopravní vzdálenost mezi jednotkou a klimatizovaným prostorem, aby bylo dosaženo co nejlepší účinnosti klimatického systému.

Dimenzování prvků pro distribuci vzduchu

Proudění vzduchu z vyústek bylo klasifikováno podle [1]. Rozměr a počet vyústek byl volen tak, aby výtoková rychlost $w_0\text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$ nepřekročila hodnotu $1,5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pro ukázkový výpočet byla zvolena vyústka o rozměrech $825\times 325\text{ mm}$, která je instalována v místnosti Cluster. Vzhledem k dispozicím místnosti Cluster bude přiváděný vzduch vstupovat do prostředí s přibližně stejnou teplotou, a proto lze použít vztahy pro výpočet izotermního proudu. Vypočtené hodnoty pro všechny vyústky jsou uvedeny v tab. 7.18.

a) Průřez proudu z vyústky

$$S_0 = S_V \cdot \varepsilon_0 \text{ [m}^2\text{]} \quad (7.2)$$

S_V – volný průřez vyústky [m²]

Dle podkladů výrobce PROCLIMA [17], $S_V = 0,1932 \text{ m}^2$.

ε_0 – součinitel kontrakce proudu [-]

Zvoleno $\varepsilon_0 = 0,9$.

$$S_0 = S_V \cdot \varepsilon_0 = 0,1932 \cdot 0,9 = 0,17 \text{ m}^2$$

b) Výtoková rychlost

$$w_0 = \frac{\frac{V_v}{3600}}{S_0} \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]} \quad (7.3)$$

V_v – objemový průtok vzduchu [m³·h⁻¹]

Zvolená jednotka Dantherm Escalade 14.1 II pracuje s objemovým průtokem vzduchu 3174 m³·h⁻¹. Přívod vzduchu do místnosti je navržen čtyřmi stejnými vyústkami.

Jednou vyústkou se přivádí čtvrtina přiváděného množství vzduchu, $V_v = 793,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

$$w_0 = \frac{\frac{V_v}{3600}}{S_0} = \frac{\frac{793,5}{3600}}{0,17} = 1,27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

c) Dosah proudu

$$x_L = \frac{1,13 \cdot K_D \cdot V_v}{3600 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot S_0}{\pi}}} \cdot \frac{1}{w_{m,L}} \text{ [m]} \quad (7.5)$$

K_D – konstanta vyústky [-]

$$K_D = 5$$

$w_{m,L}$ – rychlost v ose proudu ve vzdálenosti x_L od vyústky [m·s⁻¹]

Zvoleno $w_{m,L} = 1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$x_L = \frac{1,13 \cdot K_D \cdot V_v}{3600 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot S_0}{\pi}}} \cdot \frac{1}{w_{m,L}} = \frac{1,13 \cdot 5 \cdot 793,5}{3600 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 0,17}{\pi}}} \cdot \frac{1}{1,5} = 1,76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

d) Rychlost v ose proudu ve zvolené vzdálenosti od vyústky

$$w_{m,L} = \frac{K_D \cdot \sqrt{S_0}}{x_L} \cdot w_0 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]} \quad (7.6)$$

K_D – konstanta vyústky [-]

$$K_D = 5$$

x_L – vzdálenost od vyústky [m]

Zvoleno $x_L = 1 \text{ m}$.

$$w_{m,x=1m} = \frac{K_D \cdot \sqrt{S_0}}{x_L} \cdot w_0 = \frac{5 \cdot \sqrt{0,17}}{1} \cdot 1,27 = 2,64 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Parametry vyústek byly převzaty z internetového katalogu výrobce Proclima [19]. Přívod vzduchu do místnosti Cluster zajišťují čtyři obdélníkové jednořadé vyústky PROCLIMA TPJ 68-12-76 o rozměru 825×325 mm. Odvod vzduchu z místnosti Cluster zajišťují čtyři obdélníkové jednořadé vyústky PROCLIMA TPJ 68-12-76 o rozměru 825×325 mm. Distribuci vzduchu do místnosti Server zajišťují dvě obdélníkové jednořadé vyústky PROCLIMA TPJ 68-12-76 o rozměru 1225×225 mm. Odvod vzduchu z místnosti Server zajišťují dvě obdélníkové jednořadé vyústky PROCLIMA TPJ 68-12-76 o rozměru 1225×225 mm. Rychlosti vystupujícího vzduchu navrženými vyústkami jsou uvedeny v tabulce 7.18. Model systému klimatizace místnosti Cluster je zobrazen na obr. 7.6. Model systému klimatizace místnosti Server je zobrazen na obr. 7.7.

Tab. 7.18: Výpočet prvků pro distribuci vzduchu

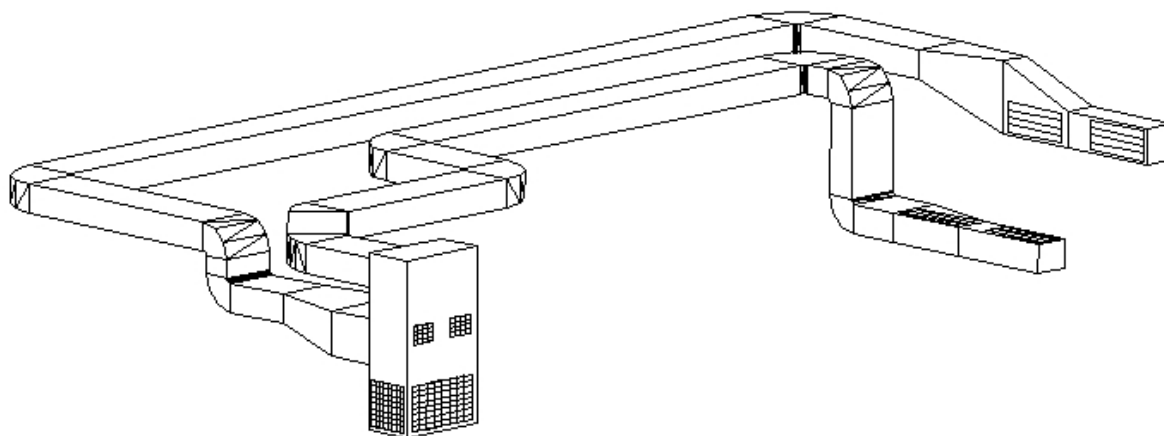
Průtok	Rozměr		Průřez proudu		Výstupní rychlost	Dosah proudu	Rychlost ve vzdálenosti x od vyústky	
V	$a_v \times b_v$	S_v	ε_0	S_0	w_0	x_L	$w_{m,x=1m}$	$w_{m,x=2m}$
m^3h^{-1}	mm	m^2	-	m^2	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	m	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
793,5	825×325	0,1932	0,90	0,17	1,27	1,76	2,64	1,32
655	1225×225	0,1928	0,90	0,17	1,05	1,46	2,18	1,09

Dimenzování průřezu vzduchovodu

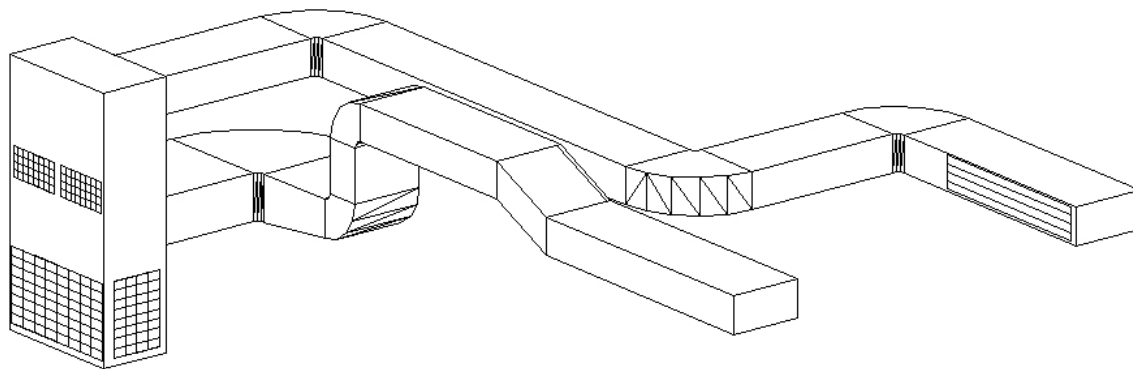
Jednotka pro klimatizaci místnosti Cluster je umístěna na východní obvodovou zeď. Distribuční čtyřhranný vzduchovod je veden převážně pod stropem. Jednotka pro klimatizaci místnosti Server je umístěna na východní obvodovou zeď. Distribuční čtyřhranný vzduchovod je veden pod stropem.

Dimenzování průřezu vzduchovodu bylo provedeno metodou volby rychlosti. Vzhledem v charakteru prostoru (veřejná budova) byla stanovena dle [1] maximální rychlost ve vzduchotechnickém potrubí $6,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a optimální střední rychlost mezi 3 a $4,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Rozměry potrubí se tedy musí volit tak, aby rychlost vzduchu v něm dosahovala požadované hodnoty. Byl brán zřetel i na měrné tlakové ztráty v potrubí, protože ventilátory navržených jednotek přesné klimatizace disponují dostupným tlakem 20 Pa.

Výpočet byl proveden dle [1]. Ukázkový výpočet proveden pro úsek číslo 1 větve pro přívod větracího vzduchu do místnosti Cluster. Číslování jednotlivých úseků je na obr. 7.8 a obr. 7.9. Tlakové ztráty pro všechny úseky jsou uvedeny v tab. 7.19 a v tab. 7.20.



Obr. 7.6: Model klimatického systému pro místnosti Cluster



Obr. 7.7: Model klimatizačního systému pro místnosti Server

a) Ekvivalentní průměr potrubí podle rychlosti

$$d_h = \frac{2 \cdot a_0 \cdot b_0}{a_0 + b_0} \text{ [m]} \quad (7.7)$$

a_0 – šířka potrubí [m]

$$a_0 = 0,800 \text{ m}$$

b_0 – výška potrubí [m]

$$b_0 = 0,355 \text{ m}$$

$$d_h = \frac{2 \cdot a_0 \cdot b_0}{a_0 + b_0} = \frac{2 \cdot 0,800 \cdot 0,355}{0,800 + 0,355} = 0,492 \text{ m}$$

b) Rychlost proudění

$$w = \frac{\frac{V_v}{\pi \cdot d_h^2}}{4} \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (7.8)$$

V_v – objemový průtok vzduchu [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]

Zvolená jednotka Dantherm Escalade 14.1 II pracuje s objemovým průtokem vzduchu $3174 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Přívod vzduchu do místnosti je navržen čtyřmi stejnými vyústkami. Tímto úsekem se přivádí vzduch ke dvěma vyústkám, tedy polovina přiváděného množství vzduchu, $V = 1587 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

$$w = \frac{\frac{V_v}{\pi \cdot d_h^2}}{4} = \frac{\frac{1587}{\pi \cdot 0,492^2}}{4} = 4,64 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

c) Měrná tlaková ztráta

$$R = \frac{\lambda_R}{d_h} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2 \text{ [Pa} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (7.9)$$

λ_R – součinitel tření [-]

Pro ocelové pozinkované potrubí je $\lambda = 0,018$.

ρ – hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

$$\rho = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$R = \frac{\lambda_R}{d_h} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2 = \frac{0,018}{0,492} \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 4,64^2 = 0,47 \text{ Pa} \cdot \text{m}^{-1}$$

d) Tlaková ztráta třením

$$\Delta p_t = R \cdot l \text{ [Pa]} \quad (7.10)$$

l – délka úseku [m]

$$l = 7 \text{ m}$$

$$\Delta p_t = R \cdot l = 0,47 \cdot 7 = 3,29 \text{ Pa}$$

e) Tlaková ztráta místními odpory

$$\Delta p_\xi = \Sigma \xi \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2 \text{ [Pa]} \quad (7.11)$$

$\Sigma \xi$ – součinitel místních odporů [-]

Součinitelé místních odporů jsou určeny dle [1] takto: v úseku jsou dva oblouky 45° s hodnotou $\xi = 0,2$ a dva oblouky 90° s hodnotou $\xi = 0,2$.

$$\Sigma \xi = 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,2 = 0,8$$

ρ – hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

$$\rho = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\Delta p_\xi = \Sigma \xi \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2 = 0,8 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 4,64^2 = 10,32 \text{ Pa}$$

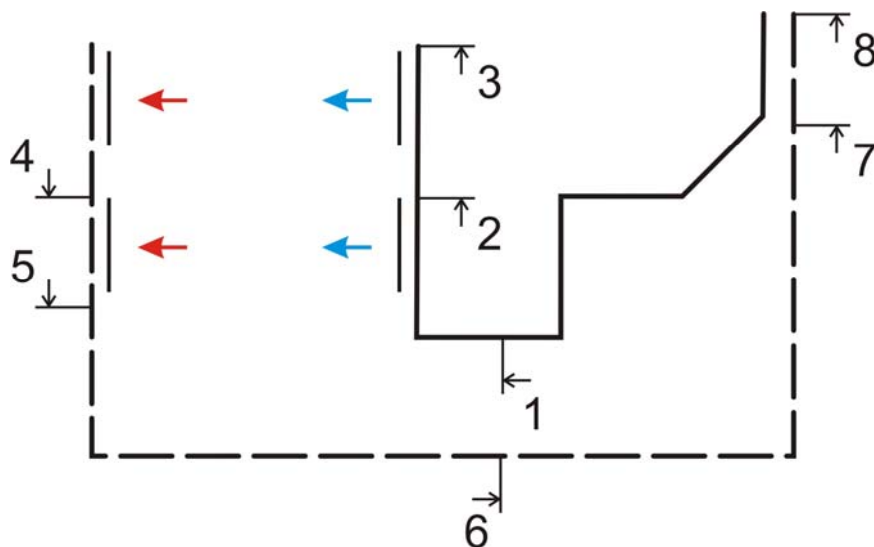
f) Tlaková ztráta úseku č. 1

$$\Delta p_z = \Delta p_t + \Delta p_\xi \text{ [Pa]} \quad (7.12)$$

$$\Delta p_z = \Delta p_t + \Delta p_\xi = 3,29 + 10,32 = 13,61 \text{ Pa}$$

g) Tlaková ztráta větve

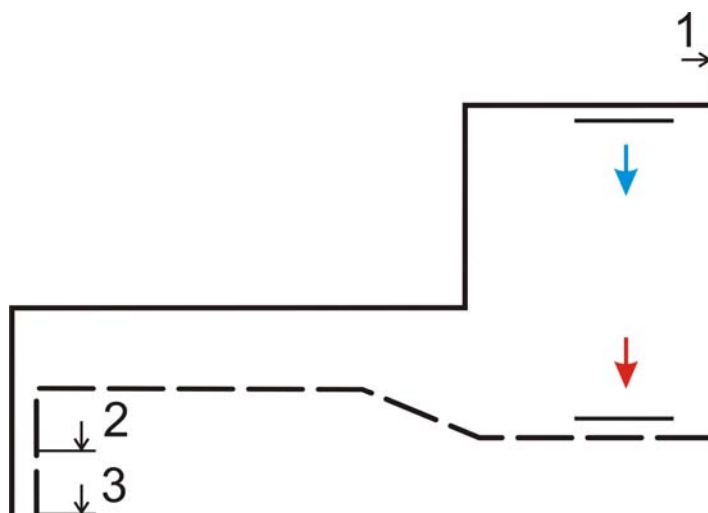
$$p_z = \sum_{i=1}^n \Delta p_{z,i} \text{ [Pa]} \quad (7.13)$$



Obr. 7.8: Číslování úseků potrubí klimatizačního zařízení pro místnost Cluster

Tab. 7.19: Výpočet tlakové ztráty potrubí klimatizačního zařízení pro místnost Cluster

Č. úseku	Průtok	Rozměr	Skutečné hodnoty		Ztráty třením			Místní ztráty		Ztráta úseku
	V_v	$a_0 \times b_0$	d_h	w	R	l	$R \cdot l$	$\Sigma \xi$	$\xi \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot w^2$	Δp_z
	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	mm	mm	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{Pa} \cdot \text{m}^{-1}$	m	Pa	-	Pa	Pa
1	3174	800x355	492	4,64	0,47	7,00	3,29	0,80	10,32	13,61
2	3174	800x630	705	2,26	0,10	3,80	0,38	1,10	3,37	3,75
3	1587	400x400	400	3,51	0,50	1,20	0,60	0,28	2,07	2,67
$p_z =$										20,03
4	1587	400x400	400	3,51	0,40	1,20	0,48	0,80	5,91	6,39
5	3174	400x800	533	3,95	0,38	0,00	0,00	0,25	2,34	2,34
6	3174	1000x630	773	1,88	0,08	5,80	0,46	0,45	0,95	1,42
7	3174	1000x355	524	4,09	0,38	9,00	3,42	0,60	6,02	9,44
8	3174	1000x500	667	2,52	0,13	0,70	0,09	0,20	0,76	0,86
$p_z =$										20,44



Obr. 7.9: Číslování úseků potrubí klimatizačního zařízení pro místnost Server

Tab. 7.20: Výpočet tlakové ztráty potrubí klimatizačního zařízení pro místnost Server

Č. úseku	Průtok	Rozměr	Skutečné hodnoty		Ztráty třením			Místní ztráty		Ztráta úseku
	V_v	$a_0 \times b_0$	d_h	w	R	l	$R \cdot l$	$\Sigma \xi$	$\xi \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot w^2$	Δp_z
	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	mm	mm	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{Pa} \cdot \text{m}^{-1}$	m	Pa	-	Pa	Pa
1	1310	500x250	333	4,18	0,64	6,80	4,35	1,23	12,88	17,24
$p_z =$										17,24
2	1310	500x250	333	4,18	0,64	5,30	3,39	1,50	15,71	19,10
3	1310	800x315	452	2,27	0,13	0,70	0,09	0,45	1,39	1,48
$p_z =$										20,58

Pro vypočtené tlakové ztráty navržených tras potrubí mají ventilátory ve zvolených klimatizačních jednotkách dostatečný dostupný tlak.

7.8 Kalkulace ceny zařízení přesné klimatizace

Pro kalkulaci ceny byly využity poskytnuté ceníky firmy Impromat CZ, spol. s r.o., pobočka Brno [16]. Níže uvedené ceny obsahují pouze ceny jednotek přesné klimatizace a příslušenství. Neobsahují vzduchotechnické potrubí, izolaci, práci, dopravu materiálu a pracovníků, spotřební materiál, elektroinstalační materiál a DPH. Cena za klimatizační jednotky přesné klimatizace je uvedena v tab. 7.21.

Tab. 7.21: Cena za zařízení přesné klimatizace Dantherm

Číslo	Položka	Počet	MJ	Jednotková cena	Celkem bez DPH
360004	Dantherm Escalade 14.1 II, free cooling, DC fan	1	ks	184 200,0	184 200,0 Kč
360001	Dantherm Escalade 5.8 II, free cooling, DC fan	1	ks	119 300,0	119 300,0 Kč
	Klimatizační jednotky celkem				303 500,0 Kč
	DenView info panel	1	ks	11 700,0	11 700,0 Kč
16361	kontroler vlhkosti	2	ks	3 300,0	6 600,0 Kč
16362	kouřový alarm	4	kg	8 700,0	34 800,0 Kč
16363	senzor teploty	2	kg	1 300,0	2 600,0 Kč
	Příslušenství celkem				55 700,0 Kč

CENA CELKEM	359 200,0 Kč
--------------------	---------------------

7.9 Porovnání zařízení firmy Dantherm s nabídkou jiných výrobců

Pro porovnávání zařízení byli dále vybráni tito dodavatelé:

- GEA Klimatizace spol. s r. o., výrobce DENCO
- JANKA Radotín a.s., LENNOX, výrobce LENNOX

Zařízení pro přesnou klimatizaci výrobců Dantherm a Lennox jsou složeny z jedné skříňové jednotky, která nasává venkovní vzduch, upravuje jeho parametry a přivádí ho do klimatizované místnosti. Zařízení firmy Denco je složeno z venkovní jednotky s kondenzátorem a vnitřní jednotky s výparníkem, která je umístěna v klimatizované místnosti.

Porovnání s ostatními výrobci bude provedeno pouze na základě cen samotných jednotek bez příslušenství. Porovnání je uvedeno v tab. 7.22. Získané nabídky dodavatelů jsou v Příloze P4.

Tab. 7.22: Porovnání cen jednotek přesné klimatizace různých výrobců

Výrobce	Typ jednotky místnosti Cluster	Typ jednotky místnosti Server	Cena jednotek bez DPH
Dantherm	Escalade 14.1 II	Escalade 5.8 II	303 500,0 Kč
Denco	TD012XH	TD003XH	515 807,0 Kč
Lennox	THX0 1302	THX0 0451	522 425,0 Kč

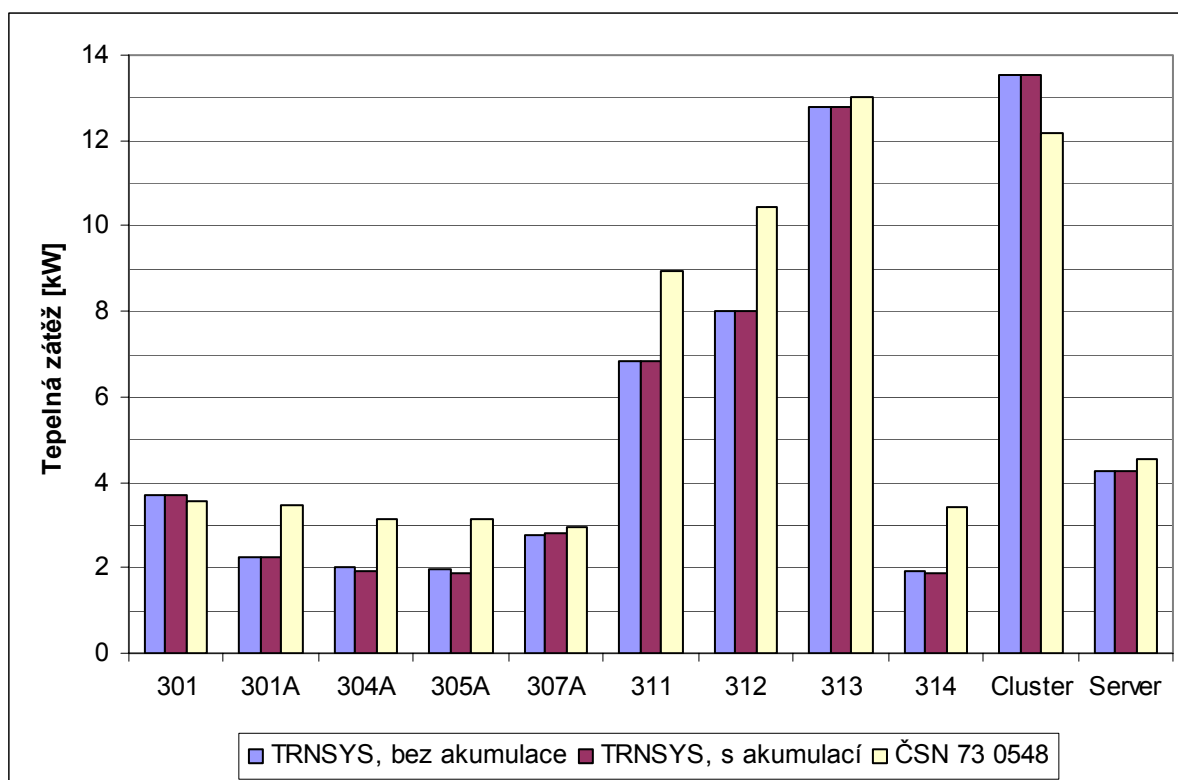
8 NUMERICKÝ VÝPOČET SPOTŘEBY CHLADU

Numerický výpočet spotřeby chladu byl proveden v programu TRNSYS. Zadané vlastnosti počítaného objektu byly shodné, jako při výše uvedeném výpočtu dle ČSN 73 0548 [13]. Numerickým výpočtem byly provedeny dvě varianty řešení. V první variantě byla zanedbána tepelně akumulční schopnost stavebních konstrukcí, v druhé variantě bylo uvažováno s akumulací tepla do stavebních materiálů. Výsledky výpočtu pro některé místnosti jsou uvedeny v tabulkách. Tab. 8.1 zobrazuje maximální okamžitou tepelnou zátěž některých místností vypočtenou programem TRNSYS bez akumulace, s akumulací a vypočtenou podle ČSN 73 0548 výše. Grafické znázornění tab. 8.1 je na obr. 8.1. Tab. 8.2 zobrazuje roční spotřebu chladu vypočtenou programem TRNSYS pro jednotlivé místnosti, pro systémy komfortní a přesné klimatizace a celkovou. Celková roční spotřeba chladu byla vypočtena součtem okamžitých tepelných zátěží v každé hodině roku.

Tab. 8.1: Maximální okamžitá tepelná zátěž některých místností

Místnost		301	301A	304A	305A	307A
TRNSYS, bez ak.	kW	3,70	2,24	1,99	1,98	2,78
TRNSYS, s ak.	kW	3,72	2,24	1,90	1,89	2,79
Dle ČSN 73 0548	kW	3,55	3,45	3,12	3,12	2,96

Místnost		311	312	313	314	Cluster	Server
TRNSYS, bez ak.	kW	6,84	7,99	12,76	1,91	13,54	4,27
TRNSYS, s ak.	kW	6,84	7,99	12,77	1,88	13,54	4,27
Dle ČSN 73 0548	kW	8,95	10,45	13,03	3,41	12,16	4,56



Obr. 8.1: Maximální okamžitá tepelná zátěž některých místností

Z tab. 8.1 je patrné, že výsledky programu TRNSYS zejména v místnostech, které mají pouze jednu venkovní stěnu a tepelné zisky od vnitřních zdrojů tepla jsou malé, jsou nižší než výsledky dle ČSN 73 0548. Tepelné zátěže půdorysně rozlehlejších místností jsou dle ČSN 73 0548 větší přibližně o 25 %, u menších místností jsou dokonce vyšší přibližně o 40 %. Lze tedy usuzovat, že výsledky získané programem TRNSYS nemusí vždy vyhovovat požadavkům ČSN 73 0548. Rozdílné výsledky mohou být zapříčiněny zejména tím, že program TRNSYS pracuje s naměřenými meteorologickými daty, tedy nepočítá vždy se zcela jasným dnem jako je tomu v případě ČSN 73 0548, a vychází z reálných teplot venkovního vzduchu. Výsledek ovlivňuje i soubor meteorologických dat obecně, který obsahuje záznamy jen z určitého období, resp. z konkrétního roku.

Neuvažování akumulace tepla do stavebních konstrukcí při výpočtu okamžité maximální tepelné zátěže výsledky příliš neovlivní (viz tab. 8.1). Nezanedbatelný vliv má akumulace tepla na výsledky výpočtu spotřeby chladu v časovém intervalu. Nepřesné výsledky spotřeby chladu jsou převážně v místnostech, které přímo sousedí s venkovním prostorem. Jak ukazuje tab. 8.2, v menších místnostech se vliv akumulace tepla projeví výrazněji. Nepřesnost výsledků spotřeby chladu v menších místnostech dosahuje i 370 %.

Tab. 8.2: Roční spotřeba chladu vypočtená programem TRNSYS

Místnost		301	301A	304A	305A	307A
bez akumulace	MWh	661	464	366	362	517
s akumulací	MWh	255	183	115	111	138

Místnost		311	312	313	314	Cluster	Server
bez akumulace	MWh	967	732	2 784	188	109 257	29 759
s akumulací	MWh	665	428	2 094	69	109 256	29 758

		Komfortní klimatizace	Přesná klimatizace	CELKEM
bez akumulace	MWh	9 951	139 016	148 967
s akumulací	MWh	4 881	139 014	143 895

Programem TRNSYS byla také stanovena orientační spotřeba elektrické energie pro roční provoz klimatizačních zařízení. Podle podkladů firmy Fujitsu [16] je průměrný podíl elektrické energie na dodaném chladu u zvolených jednotek komfortní klimatizace přibližně 30 %. Podle podkladů firmy Dantherm [16] je průměrný podíl elektrické energie na dodaném chladu u zvolených jednotek přesné klimatizace přibližně 50 % při maximálním výkonu. Jednotky Escalade II jsou vybaveny funkcí Free cooling, při které je příkon nižší ještě o 70 %. Funkce Free cooling spočívá v přívodu čerstvého vzduchu do klimatizované místnosti bez jeho teplotní úpravy výparníkem, tedy bez provozu kompresoru. Teplota přívodního vzduchu se upravuje míšením s odsávaným vzduchem. Tato funkce bude využívána při teplotách venkovního vzduchu nižších než 9 °C. S těmito předpoklady byla stanovena orientační spotřeba elektrické energie pro roční provoz klimatizačních zařízení. Výsledky výpočtu orientační roční spotřeby elektrické energie a náklady na provoz klimatizačních zařízení jsou uvedeny v tab. 8.3.

Podle tab. 8.3 odhad energetické náročnosti zařízení stanovené z výpočtu, který zanedbává vliv akumulace tepla do stavebních konstrukcí, může být v místnostech sousedících s venkovním prostředím až dvojnásobný. Výsledky spotřeby elektrické energie uvedené v tab. 8.3 také ukazují, že použitím jednotky přesné klimatizace s funkcí Free cooling se sníží náklady na roční provoz zařízení o 35 %. Pořizovací cena těchto jednotek je pouze o asi 10 % vyšší než pořizovací cena jednotek Dantherm Escalade bez funkce Free cooling.

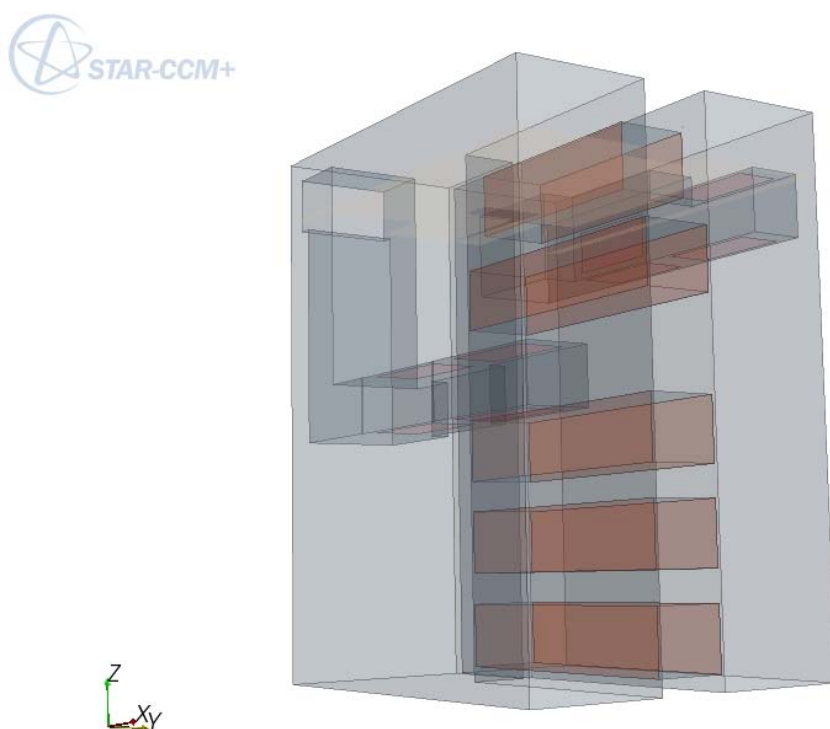
Tab. 8.3: Roční spotřeba elektrické energie vypočtená programem TRNSYS a náklady na dodanou elektrickou energii (cena elektrické energie 4,6 Kč/kWh)

	S akumulací			Bez akumulace		
	Chlad	El. energie	Náklady	Chlad	El. energie	Náklady
	kWh	kWh	Kč	kWh	kWh	Kč
Přesná klim. bez free cooling	139 014,0	69 507,0	319 732,3	139 016,2	69 508,1	319 737,2
Přesná klim. s free cooling	139 014,0	44 908,6	206 579,6	139 016,2	44 908,9	206 581,1
Komfortní klim.	4 880,7	1 464,2	6 735,4	9 951,0	2 985,3	13 732,3

Podle výsledků výpočtu s uvažováním akumulace tepla do stavebních konstrukcí by spotřeba elektrické energie klimatizačních jednotek přesné klimatizace bez funkce Free cooling byla 69507 kWh, tzn. roční náklady na provoz 319 732 Kč. Spotřeba elektrické energie klimatizačních jednotek přesné klimatizace s funkcí Free cooling by byla 44909 kWh, tzn. roční náklady na provoz 206 580 Kč. Tedy orientační roční náklady na elektrickou energii pro provoz komfortního klimatizačního systému Fujitsu a jednotek přesné klimatizace Dantherm Escalade II byly stanoveny pomocí programu TRNSYS na 213 315 Kč.

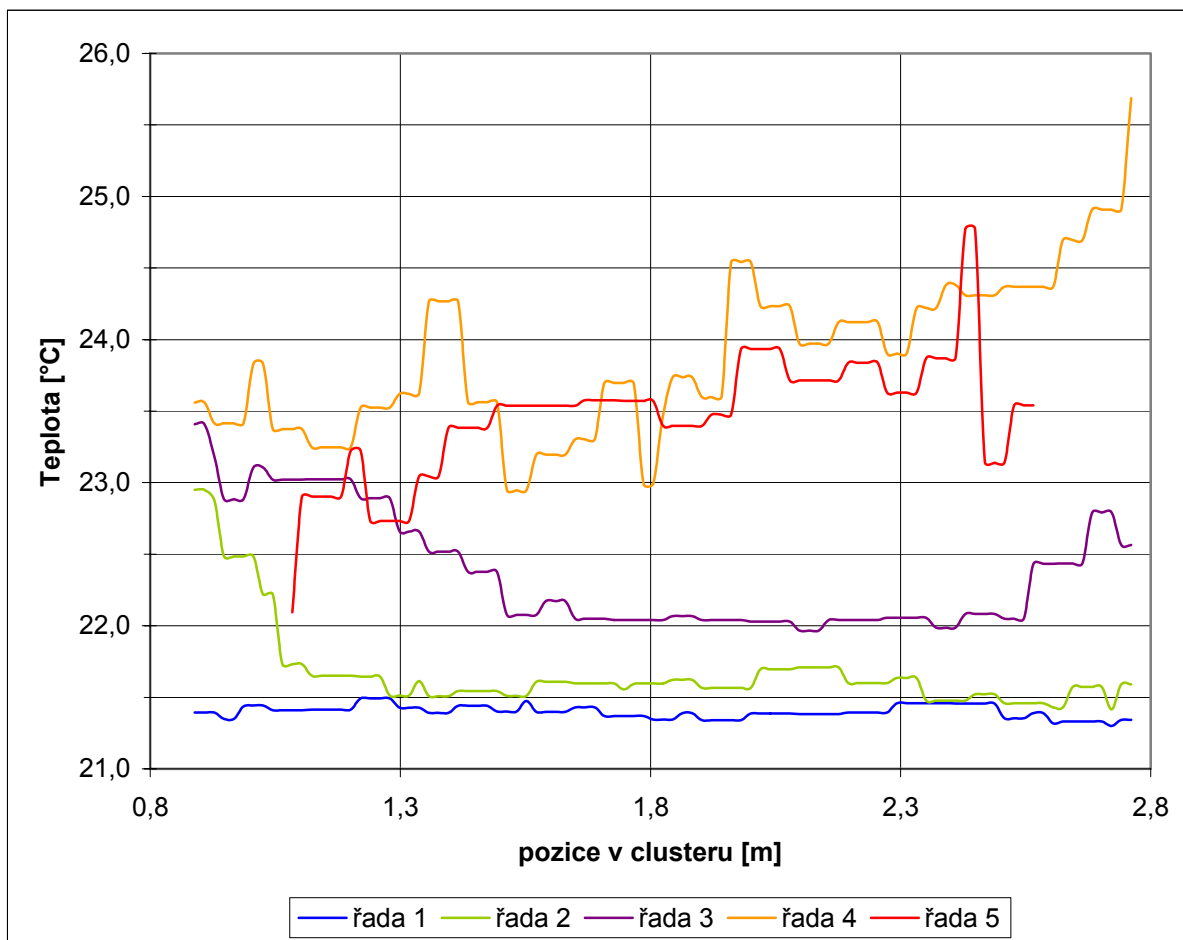
9 NUMERICKÉ OVĚŘENÍ EFEKTIVNOSTI NAVRŽENÉ DISTRIBUCE VZDUCHU V MÍSTNOSTI CLUSTER

Cílem vizualizace proudění vzduchu v místnosti Cluster bylo zjistit, jak efektivně budou ochlazovány jednotlivé počítače při navrženém přívodu a odvodu vzduchu. Tyto počítače jsou v nepřetržitém provozu a generují teplo, které je potřeba z prostoru odvádět z důvodu správné funkce a co nejdelší životnosti umístěné výpočetní techniky. Řešená místnost je uzavřená



Obr. 9.1: Model místnosti Cluster pro vizualizační výpočet

o rozměrech $3,4 \times 2,2 \times 3,4$ metrů. Zhruba uprostřed místnosti je police, ve které jsou umístěny počítače v pěti řadách nad sebou po 10-ti kusech v jedné řadě vyjma horní, 5. řady, která obsahuje 8 počítačů. Celkem tedy 48 počítačů. Dle výpočtu provedeného v kapitole 6. Výpočet tepelné zátěže je celková tepelná zátěž této místnosti 12157 W. Místnost je chlazena navrženou jednotkou Dantherm Escalade 14.1 II a distribuci vzduchu zajišťují 4 vyústky. Dispozici místnosti včetně umístění potrubí zobrazuje obr. 9.1. Model místnosti byl vytvořen v programu STAR DESIGN vyvinutý firmou CD-Adapco.



Obr. 9.2: Průběh teplot v jednotlivých řadách počítačů, řady číslovány od nejnižší

Vizualizace proudění vzduchu byla provedena v programu STAR-CCM+. Program vyvinula firma CD-Adapco. Výsledné teploty byly odečítány na úsečkách, které byly proloženy středem počítačů jedné řady v celé její délce. Proložené úsečky tedy byly rovnoběžné se směrem „x“ souřadného systému modelu. Výpočet byl proveden s dostatečnou přesností. Výsledky vizualizačního výpočtu zobrazuje graf na obr. 9.2. Z něho je patrné, že navržený systém klimatizace je velice účinný a postačuje pro zajištění maximální životnosti instalované výpočetní techniky.

ZÁVĚR

Jako klimatizace místností pro výuku studentů a kanceláří pracovníků odboru byl navržen společný chladivový VRV systém výrobce Fujitsu se společnou venkovní jednotkou umístěnou na střeše přilehlého objektu. Pro učebny jsou navrženy vnitřní podstropní jednotky Fujitsu typu ABYA. Vnitřní nástěnné jednotky Fujitsu typu ASYE jsou navrženy do kanceláří pracovníků. Pro místnosti, které slouží pouze pro umístění nepřetržitě pracující výpočetní techniky, tj. místnosti Server a Cluster, je navržena samostatná jednotka přesné klimatizace pro každou místnost. Jednotky jsou značky Dantherm typu Escalade II a budou instalovány na východní obvodovou zeď. Upravený vzduch pro klimatizování místností Server a Cluster je dopravován navrženým vzduchotechnickým potrubím. Jako distribuční prvky jsou navrženy obdélníkové jednořadé vyústky PROCLIMA TPJ 68-12-76.

Maximální tepelná zátěž byla stanovena pro každou hodinu provozu dle ČSN 73 0548. Podle výsledků výpočtu maximální tepelné zátěže je nejvyšší celková tepelná zátěž ve všech místnostech dne 21.7. v 15:00 slunečního času, resp. v 16:00 SELČ. V tuto dobu je celková tepelná zátěž dle ČSN 73 0548 v součtu všech místností 95,2 kW. Podle vypočtené maximální tepelné zátěže byly navrženy chladicí výkony klimatizačních jednotek.

Součástí návrhu byla také kalkulace ceny navrhovaných klimatizačních zařízení Fujitsu a Dantherm a její porovnání s cenovými nabídkami vybraných dodavatelů komfortní klimatizace značek Mitsubishi, Sinclair a Toshiba a přesné klimatizace značek Denco a Lennox. Celková cena pro vybrané zařízení Fujitsu zpracovaná podle podkladů firmy Impromat CZ, spol. s r. o., a podkladů montážních firem je 927 418 Kč včetně příslušenství, chladivového měděného potrubí a tvarovek, izolace a potrubí pro odvod kondenzátu. Porovnání ceny zařízení Fujitsu s ostatními výrobci ukázalo, že se jedná o zařízení nejlevnější. Celková cena pro vybrané zařízení Dantherm zpracovaná podle podkladů firmy Impromat CZ, spol. s r. o., je 359 200 Kč. Cena obsahuje pouze klimatizační jednotky a jejich příslušenství. Porovnání ceny zařízení značky Dantherm s ostatními výrobci ukázalo, že se jedná o zařízení nejlevnější.

Provedeno bylo srovnání výsledků výpočtu tepelné zátěže podle ČSN 73 0548 a výsledků výpočtu provedeného programem TRNSYS. Při porovnání výsledných maximálních tepelných zátěží byl vyvozen závěr, že ČSN 73 0548 nelze nahradit výpočtem programem TRNSYS. Výkon navrženého zařízení by pak nemusel postačovat v době maximální tepelné zátěže a nemusí vyhovovat požadavkům ČSN 73 0548. Programem TRNSYS byla také vypočítána orientační roční spotřeba chladu a z ní odvozeny orientační náklady na provoz klimatizace. Náklady na elektrickou energii pro roční provoz navrženého klimatizačního zařízení byly vyčísleny na 213 315 Kč.

V závěru práce jsou uvedeny výsledky vizualizačního výpočtu programem STAR-CCM+ pro ověření efektivnosti chlazení výpočetní techniky v místnosti Cluster. Výsledky získané tímto výpočtem ukázaly, že navržená distribuce vzduchu v řešené místnosti zajistí vhodné chlazení výpočetní techniky a tím příznivě ovlivní její životnost.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] SZÉKYOVÁ, M. – FERSTL, K. – NOVÝ, R.: *Větrání a klimatizace*, Bratislava : JAGA, 2006, 250 s., ISBN 80-8076-037-3
- [2] CHYSKÝ, J. – HEMZAL, K.: *Větrání a klimatizace*, 3. vyd., Brno : BOLIT, 1993, 560 s., Technický průvodce sv. 31, ISBN 80-901574-0-8
- [3] JANOTKOVÁ, E.: *Technika prostředí*, 1. vyd., Brno : VUT, 1991, 201 s., ISBN 80-214-0258-X
- [4] TŮMA, J.: *Domácí klimatizace a čističky vzduchu*, 1. vyd., Brno : ERA, 2007, 85 s., ISBN 978-80-7366-081-9
- [5] RUBINOVÁ, O. – RUBINA, A.: *Klimatizace a větrání*, 1. vyd., Brno : ERA, 2004, 117 s., ISBN 80-86517-30-6
- [6] HAVELSKÝ, V. – FÜRI, B.: *Chladiaca technika : základy techniky chladenia a tepelných čerpadel*, 3., preprac. vyd., Bratislava : Vydavateľstvo STU, 2006, 168 s., ISBN 80-227-2349-5
- [7] *Nariadení vlády č. 178/2001 Sb., ktorým sa stanoví podmienky ochrany zdravia zamestnancov pri práci*
- [8] *Nariadení vlády č. 523/2002 Sb., ktorým sa mení nariadení vlády č. 178/2002 Sb.*
- [9] ČSN ISO 7730: *Mírné tepelné prostředí - Stanovení ukazatelů PMV a PPD a popis podmínek tepelné pohody*, 2001
- [10] ČSN EN 779: *Filtry na odlučování částic pro všeobecné větrání - Stanovení filtračních parametrů*, 2003
- [11] ČSN EN 1822: *Vysoce účinné filtry vzduchu (HEPA a ULPA)*, 1998
- [12] *Nariadení vlády č. 2037/2000 Sb., o látkách, ktoré poškodzujú ozónovou vrstvu*
- [13] ČSN 73 0548: *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů*, 1986
- [14] ČSN 73 0540: *Tepelná ochrana budov*, 2005
- [15] *Airstage V Series*, Design and Technical data, Japan: Fujitsu, 2007
- [16] Podklady firmy Impromat CZ, spol. s r.o.
- [17] Měděné tvarovky, trubky, příslušenství [online]. Instal, 2007 [20.4.2008]. Dostupné z [www: <http://www.instal.cz/ceniky/vsechny/Cu.pdf>](http://www.instal.cz/ceniky/vsechny/Cu.pdf)

[18] Potrubní izolace, ceník [online]. Dewitky, 2008 [20.4.2008]. Dostupné z www:
<<http://www.dewitky.cz/departament.php?departamentId:87|Technicke-izolace-Potrubni-izolace-Eurobatex-Sila-steny-04>>

[19] Katalog, vyústky [online]. Proclima, 2008 [30.4.2008]. Dostupné z www:
<<http://www.proclima.cz/Katalog/index.htm>>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

označení	jednotka	název veličiny
a	°	odklon směru slunečních paprsků od jihu
a_0	m	šířka potrubí
a_1	°	sluneční azimut vůči jihu
a_V	m	šířka vyústky
b	m	šířka okna
b_0	m	výška potrubí
b_V	m	výška vyústky
c	m	hloubka vodorovného slunolamu
C	kg	množství chladiva
c_1	-	součinitel současnosti
c_2	-	zbytkový součinitel
c_3	-	průměrné zatížení zdroje
CC	kW	chladicí výkon jednotky
c_o	-	korekce na čistotu atmosféry
c_{vz}	J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹	měrná tepelná kapacita vzduchu
d	m	hloubka svislého slunolamu tloušťka vrstvy
D	-	číslo dne
d_h	m	ekvivalentní průměr potrubí podle rychlosti
e_1	m	délka stínu v okenním otvoru od okraje svislého slunolamu
e_2	m	délka stínu v okenním otvoru od okraje vodorovného slunolamu
f	m	odstup svislé části okna od slunolamu
g	m	odstup vodorovné části okna od slunolamu
g	m·s ⁻²	tíhové zrychlení
h	m	výška okna
H	m	nadmořská výška místa s řešeným objektem
h_s	°	výška slunce nad obzorem
I	W·m ⁻²	intenzita přímé a difúzní sluneční radiace dopadající na stěnu
i	-	počet otevřených oken
I_0	W·m ⁻²	sluneční konstanta
I_D	W·m ⁻²	intenzita přímé sluneční radiace na libovolně orientovanou plochu
I_d	W·m ⁻²	intenzita difúzní sluneční radiace na libovolně orientovanou plochu
I_{Dk}	W·m ⁻²	intenzita přímé sluneční radiace na plochu kolmou ke slunečním paprskům

i_l	-	počet lidí
i_o	-	počet oken
I_o	$W \cdot m^{-2}$	celková intenzita sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením
I_{odif}	$W \cdot m^{-2}$	intenzita difúzní sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením
K_D	-	konstanta vyústky
l	m	délka úseku
l_A	m	šířka zasklení okna
l_B	m	výška zasklení okna
l_{DN}	m	celková délka kapalinového potrubí o jisté světlosti
M	-	číslo měsíce
m	-	součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu tepla stěnou
M_{vz}	$kg \cdot s^{-1}$	průtok vzduchu
n_{50}	h^{-1}	intenzita výměny vzduchu
$n_{50, N}$	h^{-1}	doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu pro přirozené větrání
P_{sv}	W	celkový příkon svítidel včetně ztráty v předřadníku
p_z	Pa	tlaková ztráta větve
Q	W	celková tepelná zátěž místnosti
$Q_{1,max}$	W	maximální celková tepelná zátěž pro případ, kdy se okna větrá
$Q_{2,max}$	W	maximální celková tepelná zátěž pro případ, kdy jsou okna zavřená
Q_{cit}	W	produkce citelného tepla osoby
Q_e	W	produkce tepla elektronických zařízení
Q_l	W	produkce tepla lidí
Q_{ok}	W	tepelné zisky okny prostupem tepla
Q_{or}	W	tepelný zisk sluneční radiací okny
Q_r	W	okamžitá celková tepelná zátěž v každé hodině provozu
Q_s	W	tepelné zisky stěnami
Q_{sv}	W	produkce tepla svítidel
Q_v	W	tepelné zisky přirozeným větráním okny
Q_{vs}	W	tepelné zisky vnitřními stěnami
R	$Pa \cdot m^{-1}$	měrná tlaková ztráta
R_i	$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$	tepelný odpor vrstvy
S	m^2	povrch stěny
s	-	stínící součinitel
S_0	m^2	průřez proudu z vyústky

S_o	m^2	plocha okna včetně rámu
S_{os}	m^2	osluněná plocha oken
S_V	m^2	volný průřez vyústky
T_d	-	celková propustnost difúzní sluneční radiace standardního skla
T_D	-	celková poměrná propustnost přímé sluneční radiace
t_e	$^{\circ}C$	venkovní výpočtová teplota
t_i	$^{\circ}C$	teplota v klimatizované místnosti
t_{is}	$^{\circ}C$	teplota sousední místnosti
t_r	$^{\circ}C$	rovnocenná sluneční teplota vzduchu
$t_{r\Phi}$	$^{\circ}C$	rovnocenná sluneční teplota v době o Φ hodin dříve
t_{rm}	$^{\circ}C$	průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin
U	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	součinitel prostupu tepla stěnou
U_o	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	součinitel prostupu tepla oknem
V	m^3	objem místnosti
V_v	$m^3 \cdot h^{-1}$	objemový průtok vzduchu
w	$m \cdot s^{-1}$	rychlost proudění
w_0	$m \cdot s^{-1}$	výtoková rychlost
$w_{m,L}$	$m \cdot s^{-1}$	rychlost v ose proudu ve vzdálenosti x_L od vyústky
x_L	m	dosah proudu vzdálenost od vyústky
z	-	součinitel znečištění atmosféry
α	$^{\circ}$	úhel stěny s vodorovnou rovinou na stěně odvrácené od slunce
$\alpha_{l,2}$	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	součinitel přestupu tepla
α_e	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	součinitel přestupu tepla na vnější straně stěny
δ	m	tloušťka stěny
δ_s	$^{\circ}$	sluneční deklinace
Δp_t	Pa	tlaková ztráta třením
Δp_{ξ}	Pa	tlaková ztráta místními odpory
Δp_z	Pa	tlaková ztráta úseku
ε	-	součinitel poměrné tepelné pohltivosti pro sluneční radiaci
ε_0	-	součinitel kontrakce proudu
Φ	h	počet hodin
γ	$^{\circ}$	azimutový úhel normály stěny vůči severu
λ	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	měrná tepelná vodivost
λ_R	-	součinitel tření
Θ	$^{\circ}$	úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem slunečních paprsků

ρ	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	hustota vzduchu
ρ_e	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	hustota venkovního vzduchu
ρ_i	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	hustota vnitřního vzduchu
ΣP_e	W	celkový trvalý příkon
$\Sigma \xi$	-	součinitel místních odporů
τ	-	sluneční čas výpočtu
ψ	°	zeměpisná šířka umístění počítaného objektu

SEZNAM PŘÍLOH

P1 VÝSLEDKY VÝPOČTU TEPELNÉ ZÁTĚŽE MÍSTNOSTÍ

P2 DOSAHY PROUDU NAVRŽENÝCH VNITŘNÍCH JEDNOTEK VRV SYSTÉMU

P3 KATALOGOVÉ LISTY NAVRŽENÝCH ZAŘÍZENÍ

P4 CENOVÉ NABÍDKY KLIMATIZAČNÍCH ZAŘÍZENÍ OD OSLOVENÝCH
DODAVATELŮ

P5 VÝKRESY	A3-000-01	Stavební půdorys
	A1-000-02	VRV systém
	A3-000-03	Přesná klimatizace
	A3-000-04	Přesná klimatizace, pohled