

Integrovaný systém v budově - Systém techniky prostředí v objektu administrativní budovy – Řídicí systém KNX

An Integrated Building System - The HVAC System in an Administrative Building - Using the KNX Control System

Bc. Jiří Vincenec

Diplomová práce
2013

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří Vincenec**

Osobní číslo: **A11462**

Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Integrované systémy v budovách**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Integrovaný systém v budově – Systém techniky prostředí v objektu administrativní budovy – Řídicí systém KNX**

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte specifika prostředí v administrativní budově zahrnující technologii tvorby vnitřního prostředí.
2. Na základě výše uvedené analýzy popište požadavky na tepelně technické vlastnosti budovy a zařízení techniky prostředí, včetně způsobu řízení.
3. Pro konkrétní budovu navrhnete případnou změnu tepelně technických parametrů budovy a pro takto upravenou budovu navrhnete vhodný systém techniky prostředí se zvážením možností využití obnovitelných zdrojů energie. Systém techniky prostředí řešte pomocí teplovodní vytápěcí soustavy a teplovzdušným větracím systémem s možností chlazení. Energetickým zdrojem bude výměňková stanice.
4. Zvažte možnost využití fotovoltaických panelů a proveďte jejich technicko-ekonomické hodnocení.
5. Navrhnete systém řízení jako sběrníkový s použitím KNX komunikace, s vizualizací SCADA a komunikační bránou s protokolem TCP/IP, s možností vzdáleného ovládání přes GSM, s výstupem s případnou vazbou na management budovy.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. NOVÝ, Richard. Technika prostředí: podklady pro projekty. Vyd. 2., přeprac. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2006, 267 s. ISBN 80-010-3492-5.
2. ŠTÍPEK, Jan. Administrativní budovy: podklady pro projekty. 1. vyd. Praha: ČVUT, 2001, 51 s. ISBN 80-010-2422-9.
3. JELÍNEK, Vladimír. Technická zařízení budov: podklady pro projekty. 2. přeprac. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, 158 s., [1] příl. ISBN 80-010-2887-9.
4. ČSN 73 5305. Administrativní budovy a prostory. Praha: Český normalizační institut, 2005.
5. SZÉKYOVÁ, Marta. Větrání a klimatizace. 1. vyd. Bratislava: Jaga, 2006, 359 s. ISBN 80-807-6037-3.
6. MERZ, Hermann, Thomas HANSEMANN a Christof HÜBNER. Automatizované systémy budov: sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 261 s. ISBN 978-80-247-2367-9.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Zálešák, CSc.

Ústav automatizace a řídicí techniky

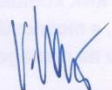
Datum zadání diplomové práce:

24. února 2013

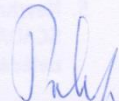
Termín odevzdání diplomové práce:

11. června 2013

Ve Zlíně dne 24. února 2013


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je návrh systému tvorby mikroklimatu a řídicích systémů pro budovu administrativního typu. Zdrojem tepla pro vytápění a přípravu teplé vody byla zvolena výměňková stanice, čili centrální zásobování teplem. Práce obsahuje návrh otopné soustavy spolu s návrhem chladících jednotek pro jednu část objektu. Tyto systémy jsou integrovány do centrálního řídicího systému. Práce také obsahuje možnost využití obnovitelných zdrojů a to fotovoltaického systému. Závěr práce pojednává a technicko-ekonomickém hodnocení vybrané části projektu.

Klíčová slova: Administrativní budova, vytápěcí systém, sběrníkový systém KNX, SCADA, výměňková stanice.

ABSTRACT

The aim of diploma thesis is to design a HAVAC system and control systems for an administrative building. A heat source for heating and hot water was determined as heat exchange station, i.e. central heating supply. Work includes design of the heating system with cooling units for one part of the object. These systems are integrated into a central control system. The work also includes an option to the use of renewable sources namely photovoltaic system. The conclusion discusses a technical-economic evaluation of selected project.

Keywords: Administrative building, heating system, KNX bus system, SCADA, heat exchange station.

Rád bych poděkoval vedoucímu práce, Ing Martinu Zálešákovi, CSc., za jeho odborné rady a připomínky nejen při vypracování této práce, ale v průběhu celého studia oboru integrovaných systémů v budovách.

Poděkování patří také mé rodině, která mi poskytla zázemí během celého mého studia na vysoké škole a přátelům, kteří mne v tomto studiu jakýmkoliv způsobem podporovali.

Motto

”

A person who never made a mistake never tried anything new.

“

Albert Einstein (* 1879 - † 1955)

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 11 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 12 |
| 1 ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY | 13 |
| 1.1 DEFINICE VYBRANÝCH POJMŮ SOUVISEJÍCÍ S ADMINISTRATIVNÍ BUDOVOU..... | 13 |
| 1.2 VÝVOJ ADMINISTRATIVNÍCH BUDOV | 13 |
| 1.3 ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY PODLE ÚČELU | 14 |
| 1.4 PLOŠNÉ POŽADAVKY NA KANCELÁŘSKÉ PRACoviŠTĚ | 14 |
| 1.5 ZÁVISLOST KONSTRUKČNÍ VÝŠKY PODLAŽÍ ADMINISTRATIVNÍCH BUDOV A ROZSAHU TECHNICKÉHO VYBAVENÍ | 15 |
| 2 STAV PROSTŘEDÍ | 16 |
| 2.1 VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ | 16 |
| 2.1.1 Tepelná rovnováha a tepelná pohoda..... | 16 |
| 2.1.2 Operativní teplota..... | 16 |
| 2.1.3 Hodnocení tepelného stavu prostředí | 17 |
| 2.2 VNĚJŠÍ PROSTŘEDÍ..... | 18 |
| 2.2.1 Teplota vzduchu | 18 |
| 2.2.2 Vlhkost vzduchu..... | 18 |
| 2.2.3 Tlak vzduchu | 19 |
| 2.3 ŠKODLIVINY V OVZDUŠÍ | 19 |
| 2.3.1 Vlastnosti..... | 19 |
| 2.3.2 Zdroje znečištění venkovního ovzduší | 20 |
| 2.3.3 Zdroje znečištění vnitřního ovzduší | 20 |
| 2.4 HODNOCENÍ ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ..... | 20 |
| 2.4.1 Venkovní ovzduší..... | 21 |
| 2.4.2 Vnitřní ovzduší..... | 21 |
| 3 TEPELNÉ VLASTNOSTI BUDOV | 22 |
| 3.1 ŠÍŘENÍ TEPLA KONSTRUKCÍ | 22 |
| 3.1.1 Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce | 22 |
| 3.1.2 Součinitel prostupu tepla..... | 22 |
| 3.1.2.1 Součinitel prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce..... | 23 |
| 3.1.2.2 Průměrný součinitel prostupu tepla | 24 |
| 3.2 ŠÍŘENÍ VLHKOSTI KONSTRUKCÍ | 25 |
| 3.2.1 Zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce | 27 |
| 3.2.2 Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry uvnitř konstrukce..... | 27 |
| 3.3 TEPELNÁ STABILITA MÍSTNOSTI | 28 |
| 3.3.1 Pokles výsledné teploty v místnosti v zimním období..... | 28 |
| 3.3.2 Tepelná stabilita místnosti v letním období | 29 |
| 3.4 TEPELNÁ ZTRÁTA BUDOVY | 29 |
| 3.4.1 Tepelná ztráta prostupem tepla | 30 |
| 3.4.2 Tepelná ztráta větráním..... | 30 |
| 3.4.3 Zátopný tepelný výkon přerušovaného vytápění | 31 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.5 | TEPELNÉ ZISKY BUDOVY | 31 |
| 3.5.1 | Tepelné zisky od vnitřních zdrojů tepla | 31 |
| 3.5.1.1 | Produkce tepla od lidí | 31 |
| 3.5.1.2 | Produkce tepla od svítidel | 32 |
| 3.5.1.3 | Produkce tepla od technologií | 32 |
| 3.5.1.4 | Jiné zdroje tepla | 32 |
| 3.5.2 | Tepelné zisky z vnějšího prostředí | 33 |
| 3.5.2.1 | Tepelná zátěž okny | 33 |
| 3.5.2.2 | Tepelné zisky stěnami | 33 |
| 4 | VĚTRÁNÍ..... | 35 |
| 4.1 | PŘIROZENÉ VĚTRÁNÍ | 36 |
| 4.2 | NUCENÉ VĚTRÁNÍ..... | 37 |
| 4.2.1 | Celkové větrání | 37 |
| 4.2.1.1 | Druhy větracích zařízení | 37 |
| 4.2.2 | Místní větrání | 38 |
| 5 | SYSTÉMY TECHNIKY PROSTŘEDÍ..... | 39 |
| 5.1 | ROZVOD VZDUCHU | 39 |
| 5.1.1 | Sítě vzduchovodů | 39 |
| 5.1.2 | Proudění vzduchovody | 40 |
| 5.1.3 | Výpočet sítě vzduchovodů | 40 |
| 5.1.3.1 | Tlakové poměry v potrubní síti | 40 |
| 5.1.3.2 | Metodika návrhu potrubních sítí | 41 |
| 5.2 | VYTÁPĚNÍ | 41 |
| 5.2.1 | Převážně konvektivní vytápění | 41 |
| 5.2.1.1 | Součinitel prostupu tepla U a měrný tepelný výkon q otopných těles | 42 |
| 5.2.1.2 | Vliv rozmístění otopných těles v místnosti na jejich vytápěcí účinek | 42 |
| 5.2.2 | Uspořádání otopné soustavy | 44 |
| 5.2.3 | Vzájemné propojování těles | 44 |
| 5.2.3.1 | Dvoutrubkové otopné soustavy | 45 |
| 5.2.3.2 | Jednotrubkové otopné soustavy | 46 |
| 5.2.4 | Hydraulický výpočet potrubních sítí otopných soustav | 46 |
| 5.2.4.1 | Tlaková ztráta třením | 46 |
| 5.2.4.2 | Tlakové ztráty vřazenými odpory | 47 |
| 5.2.4.3 | Celková tlaková ztráta | 47 |
| 5.3 | OHŘEV TEPLÉ VODY | 48 |
| 5.3.1 | Návrh ohřevu teplé vody | 48 |
| 5.3.1.1 | Stanovení potřeby teplé vody | 49 |
| 5.3.1.2 | Stanovení spotřeby tepla | 50 |
| 5.3.1.3 | Stanovení křivky odběru a dodávky tepla | 50 |
| 5.3.1.4 | Stanovení objemu zásobníku | 51 |
| 5.3.1.5 | Stanovení tepelného výkonu pro ohřev vody | 51 |
| 5.4 | VÝMĚNÍKOVÁ STANICE | 52 |
| 5.4.1 | Druhy výměníků pro vytápění | 52 |
| 5.4.2 | Princip výpočtu výměníku | 53 |
| 5.4.3 | Řízení výkonu výměníku | 54 |
| 5.4.4 | Řazení výměníků | 55 |
| 5.4.5 | Přípojný výkon | 56 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 5.5 | POJISTNÁ ZAŘÍZENÍ | 56 |
| 5.5.1 | Pojistný ventil..... | 57 |
| 5.5.2 | Expanzní zařízení | 57 |
| 6 | FOTOVOLTAICKÉ KOLEKTORY | 59 |
| 6.1 | PRINCIP ČINNOSTI..... | 59 |
| 6.2 | ÚČINNOST | 59 |
| 6.3 | KONSTRUKCE FOTOVOLTAICKÉHO PANELU | 59 |
| 6.4 | ZAPOJENÍ FOTOVOLTAIKY | 60 |
| 7 | AUTOMATIZACE BUDOVY | 62 |
| 7.1 | EVROPSKÁ INSTALAČNÍ SBĚRNICE KNX/EIB..... | 62 |
| 7.1.1 | Použití KNX/EIB | 62 |
| 7.1.2 | Přístroje na sběrnici KNX/EIB..... | 63 |
| 7.1.3 | Topologie | 63 |
| 7.1.4 | Přenosová média | 64 |
| 7.1.5 | Průběh komunikace..... | 64 |
| 7.1.5.1 | Datové telegramy a zpětná hlášení | 65 |
| 7.1.5.2 | Paket znaků UART | 65 |
| 7.1.5.3 | Provoz na sběrnici..... | 66 |
| 7.1.6 | Software KNX/EIB | 67 |
| II | PRAKTICKÁ ČÁST | 68 |
| 8 | POPIS OBJEKTU A OKRAJOVÝCH PODMÍNEK..... | 69 |
| 9 | TEPELNÉ VLASTNOSTI BUDOVY | 70 |
| 9.1 | SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA JEDNOTLIVÝMI KONSTRUKCEMI..... | 70 |
| 9.2 | PRŮMĚRNÝ SOUČINITEL TEPLA..... | 71 |
| 9.3 | NEJNIŽŠÍ VNITŘNÍ POVRCHOVÁ TEPLOTA KONSTRUKCE | 72 |
| 9.4 | ZKONDENZOVANÁ VODNÍ PÁRA V KONSTRUKCI..... | 73 |
| 9.5 | TEPELNÁ STABILITA PRO ZIMNÍ A LETNÍM OBDOBÍ | 74 |
| 9.5.1 | Výpočet tepelných ztrát..... | 74 |
| 9.5.2 | Tepelné zisky | 74 |
| 10 | NÁVRH SYSTÉMU TVORBY MIKROKLIMATU..... | 76 |
| 10.1 | VYTÁPĚCÍ VÝKON | 78 |
| 10.1.1 | Návrh potrubní sítě otopných těles | 78 |
| 10.2 | TEPELNÝ VÝKON POTŘEBNÝ VZDUCHOTECHNIKOU..... | 81 |
| 10.3 | NÁVRH TEPLÉ VODY..... | 83 |
| 10.4 | CELKOVÝ PŘÍPOJNÝ VÝKON | 85 |
| 10.4.1 | Návrh termo hydraulického rozdělovače | 86 |
| 10.4.2 | Teplosměnná plocha primárního výměníku..... | 87 |
| 10.4.3 | Pojistná zařízení | 88 |
| 10.5 | CHLAZENÍ „OBJEKTU A“ A „OBJEKTU B2“ | 89 |
| 11 | VYUŽITÍ FOTOVOLTAICKÝCH KOLEKTORŮ..... | 92 |
| 11.1 | EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU | 94 |
| 12 | AUTOMATIZACE BUDOVY | 97 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 12.1 | ŘÍZENÍ VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVY TEPLÉ VODY..... | 97 |
| 12.2 | ŘÍZENÍ VZDUCHOTECHNIKY..... | 100 |
| 12.3 | NÁVRH SCADA SYSTÉMU | 100 |
| 13 | TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ | 102 |
| 13.1 | NÁKLADY NA VYTÁPĚNÍ A OHŘEV TEPLÉ VODY..... | 102 |
| 13.2 | INVESTIČNÍ NÁKLADY | 103 |
| 13.3 | EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ PROJEKTU | 104 |
| 13.3.1 | Fotovoltaický systém | 104 |
| | ZÁVĚR | 105 |
| | ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ..... | 107 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 109 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 112 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 113 |
| | SEZNAM TABULEK..... | 115 |
| | SEZNAM PŘÍLOH..... | 117 |

ÚVOD

Člověk se již od počátku snažil budovat si přístřeší, ochranu před venkovními nepříznivými podmínkami. S vývojem civilizace se mění i nároky na tato přístřeší, budovy. V posledních několika desetiletích se vzhledem k rostoucím cenám energií více myslí na co největší úspory a to i v oblasti budov. Jsou kladeny nároky na nízkou energetickou náročnost nově postavených budov. U těch stávajících je snaha tuto energetickou náročnost minimalizovat. Tyto energetické nároky jsou obvykle snižovány úplným zateplením obvodových konstrukcí a použitím kvalitních výplní otvorů, oken a dveří. Tyto nároky jsou také ovlivňovány použitými technologiemi pro vytápění, ohřev vody a případné strojní chlazení objektu. Pro snížení energetických nároků se v poslední době využívá obnovitelných zdrojů energie, tepelné čerpadlo, solární kolektory, fotovoltaické panely a podobně.

Využívání moderních technologií v budovách umožňuje zvýšit komfort osob, které budovu využívají. Je jim umožněno pomocí místních nebo centrálních řídicích prvků ovládat systémy integrované v budově, pohodlně přes jednoduché a intuitivní rozhraní. Moderní technologie také umožňují vzdálený přístup k těmto řídicím systémům například přes protokol TCI/IP, nebo GSM.

Toto téma jsem si vybral především, kvůli možnosti aplikování nabytých znalostí získaných během studia na Fakultě aplikované informatiky, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.

Cílem této práce je vytvoření systému na tvorbu mikroklimatu pro budovu administrativního typu.

V teoretické části práce se zabývám teoretickými podklady pro problematiku spojenou s budovami. Jsou popsány všeobecné informace o zvoleném typu budovy, stavu prostředí. Jsou také řešeny nároky norem na vlastnosti obvodových konstrukcí. Popsány jsou také použité technologie v budově.

Praktická část obsahuje ověření zmiňovaných nároků norem na obvodové konstrukce, výpočet tepelných ztrát pro zimní období a tepelných zisků pro letní období. Je popsán návrh vytápěcího systému za využití výměňkové stanice a chladících jednotek v jednotlivých kancelářích za použití FCU jednotek s centrálním venkovním chladičem. Je vypracováno zhodnocení možnosti využití fotovoltaického systému. Pro tyto navržené systémy je vypracován návrh řízení spolu s vizualizací pomocí SCADA systému. Poslední bod řeší technicko-ekonomické zhodnocení projektu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY

Podle normy ČSN 73 5305 [1], je jako administrativní budova definován objekt, který je využit nejméně 50 % své užitkové plochy jako kanceláře. [1, s. 6]

1.1 Definice vybraných pojmů související s administrativní budovou

Administrativní prostor: ucelená část budovy nebo polyfunkčního komplexu budovy obsahující alespoň 50 % kanceláří na své užitkové ploše. [1, s. 6]

Kancelář: stavebně vymezený prostor určený pro jedno nebo více kancelářských pracovišť. [1, s. 6]

Pracovní plocha: plocha, zpravidla deska pracovního stolu určeného pro administraci. [1, s. 6]

Větrání: proces, při němž je odveden znehodnocený vzduch z kanceláře a místo něj je přiveden vzduch čerstvý. [1, s. 6]

Nucené větrání: větrání, které je zajišťováno provozem ventilátoru. [1, s. 6]

1.2 Vývoj administrativních budov

V průběhu druhé poloviny 20. století byla preferována různá řešení administrativních pracovišť podle toho, jak která doba administrativní práci chápala a jakými faktory byla určována. [2, s. 16]

- Velkoprostorové kanceláře: vhodné pro velké pracovní skupiny s velkou dělbou práce. V současné době spíše výjimečné, jsou pozůstatkem z první poloviny 20. století z USA. V Evropě vznikaly takzvané kancelářské krajiny, kdy pracoviště vedoucích úředníků byla oddělena stavebně, nebo byla součástí celého prostoru a byla oddělena větší odstupovou vzdáleností a zelení. [2, s. 16]
- Kanceláře buňkové: jsou vhodné pro samostatnou a koncentrovanou činnost jednoho pracovníka, nebo skupinu pracovníků s potřebou neustálé spolupráce. [2, s. 18]
- Prostory pro skupiny: vhodné pro skupinu pracovníků se stálou výměnou informací. Mají přinést zlidšťování pracovního prostředí pro administrativní činnost. Oproti velkoprostorovým kancelářím disponují prostory pro skupiny větší intimitou. [2, s. 19]

- Kombi kanceláře: pokus spojit výhody kanceláří pro skupiny a individuálních buňkových. [2, s. 20]

1.3 Administrativní budovy podle účelu

V současné době rozlišujeme administrativní budovy do několika skupin [1, s. 5]:

- 1) Budovy veřejné správy.
 - a) Budovy moci zákonodárné a samosprávné: parlamenty, regionální samosprávy, radnice.
 - b) Budovy moci výkonné (exekutivní): budovy vlády, budovy ministerstev a jejich úřadů.
 - c) Budovy moci soudní.
- 2) Vědeckých a výzkumných institucí.
- 3) Budovy pro peněžnictví: banky, pojišťovny, burzy.
- 4) Pro administrativu související s výrobou, obchodem a službami.
- 5) Přenosových a informačních médií: telekomunikace, pošty, rozhlas, televize, redakce tištěných médií.
- 6) Univerzálně administrativní.

1.4 Plošné požadavky na kancelářské pracoviště

Minimální plošné a doporučené požadavky na kancelářské pracoviště jsou uvedeny v tabulce 1. Optimální plocha je vždy závislá na určitém interiérovém uspořádání, povaze práce a jejich společenských nárocích v konkrétním řešeném případě. [1, s. 8]

Tabulka 1 – Plochy kancelářských pracovišť [1, s. 8]

| Kancelářská práce | Minimální plocha kancelářského pracoviště [m ²] | Doporučená plocha kancelářského pracoviště [m ²] |
|--|---|--|
| Bez prostoru pro jednání, bez odkládací plochy | 5 | 8 |
| Bez prostoru pro jednání, s odkládací plochou | 8 | 10 |
| S prostorem pro jednání, bez odkládací plochy | 10 | 12 |
| S prostorem pro jednání, s odkládací plochou | 12 | 16 |

Poznámka: Prostor pro jednání s jednou nebo maximálně dvěma osobami.

1.5 Závislost konstrukční výšky podlaží administrativních budov a rozsahu technického vybavení

Konstrukční výška podlaží administrativní budovy nezávisí pouze na rozměrech největší místnosti umístěné v podlaží a na zvoleném konstrukčním systému, ale je ovlivněno i mírou technického vybavení. Je potřeba sledovat vývoj technických zařízení pro vzduchotechniku a chlazení. Vývoj v této oblasti ovlivňuje prostorové nároky. [2, s. 38 – 39]

1. Výška podlaží minimálně 3 m. V budově s nízkým stupněm technického vybavení, bez zavěšených podhledů a vzduchotechniky. Elektroinstalace a topení se rozvádí parapety. Stropní osvětlení je připojeno kabely vedenými příčkami a stěnami. [2, s. 38]
2. Výška podlaží 3,4 m. Budova bez vzduchotechniky. Hlavní rozvody jsou umístěny pod stropem chodby. Rozvody v místnostech, topení, silnoproud, slaboproud a voda jsou umístěny v podhledech pod stropem. [2, s. 38]
3. Výška podlaží 3,7 m. Budova se vzduchotechnikou pro kancelářské prostory. Instalační prostor minimálně 0,5 m. [2, s. 38]
4. Výška podlaží 4,2 m. Velkoprostorové kanceláře se světlou výškou 3 m. [2, s. 39]

2 STAV PROSTŘEDÍ

Stav prostředí je určen charakteristickými činiteli a to zejména fyzikálními, chemickými a biologickými. [3, s. 9]

Vnitřní prostředí se upravuje zejména z hygienických, technologických, biologických a bezpečnostních důvodů. Ve venkovním prostředí je cílem omezení zátěže těchto prostor škodlivinami, které jsou produkovány technickými procesy. Důvody jsou ekologické a kulturně historické. [3, s. 9]

Prostředí lze charakterizovat pro technické účely činiteli, které lze rozdělit do dvou skupin energetické a činitele látkové. Mezi energetické patří například: teplota, tlak a rychlost proudění vzduchu, intenzita slunečního záření, akustický tlak a další. Mezi látkové činitele můžeme zařadit například: vlhkost vzduchu, koncentrace příměsí ve vzduchu a další. [3, s. 9]

2.1 Vnitřní prostředí

Tepelný stav prostředí, mikroklima, je charakterizováno tepelnými a vlhkostními veličinami, které ovlivňují výsledný psychický a fyzický stav člověka. Důsledkem analýzy tepelného stavu prostředí je stanovení podmínek, které jsou optimální pro lidský organismus, popřípadě mezní, neboli přípustné. [3, s. 16]

2.1.1 Tepelná rovnováha a tepelná pohoda

Tepelná rovnováha těla a okolí je stav, při němž je zachována rovnost produkovaného tepelného toku q a toku tepla odnímaného tělu okolím. [3, s. 18]

Tepelná pohoda neboli tepelný komfort, je subjektivní pocit, při kterém je zachována tepelná rovnováha za optimálních fyziologických parametrů. Fyziologickými kritérii je myšlena teplota povrchu pokožky θ_k a tepelný tok odváděný vypařováním z povrchu mokré pokožky q_{w2} . [3, s. 18]

2.1.2 Operativní teplota

Jedná se o výpočtovou teplotu, která je definována jako jednotná teplota uzavřeného prostoru, černého z hlediska radiace, ve kterém by bylo teplo sdílené konvekcí i sáláním stejné jako ve skutečném, teplotně nesouměrném prostředí. [4]

Operativní teplotu lze stanovit z teploty vzduchu θ_a , střední radiační teploty θ_r a rychlosti vzduchu w_a . Pokud je relativní rychlost proudění vzduchu malá, $w_a < 0,2$ m/s nebo kde je rozdíl mezi střední radiační teplotou a teplotou vzduchu malý, $\Delta\theta < 4^\circ\text{C}$, lze operativní teplotu vypočítat jako aritmetický průměr těchto teplot. Pokud je rychlost vzduchu vyšší nebo větší rozdíl teplot operativní teplota se stanoví pomocí rovnice 2.1. [4]

$$\theta_o = A \cdot \theta_a + (1 - A) \cdot \theta_r \quad (2.1)$$

kde A je funkcí rychlosti proudění vzduchu w_a [m/s].

Tabulka 2 – Závislost koeficientu A na rychlosti proudění vzduchu [4]

| | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|
| w_a [m/s] | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 |
| A [-] | 0,50 | 0,53 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,75 |

2.1.3 Hodnocení tepelného stavu prostředí

Optimální parametry prostředí pro určitou aktivitu člověka a jeho oděv je dána rovnicí tepelné pohody. Člověk cítí tepelnou nepohodu, diskomfort, pokud tyto parametry nejsou dodrženy. Stupeň diskomfortu je vyjádřen ukazatelem PMV [-], Predicted Mean Vote, tento výraz můžeme přeložit následovně předpověď středního tepelného pocitu. PMV je definováno jako funkce rozdílu tepelného toku produkovaného organismem a aktuálního toku tepla, které je tělu odnímáno prostředím, tento rozdíl je označován L [W]. [3, s. 25]

Statistické šetření tepelných pocitů osob přispělo k přidělení subjektivních údajů k číselným hodnotám PMV . [3, s. 25]

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-(0,036q_m)} + 0,028)L \quad (2.2)$$

kde q_m je měrný energetický výdej

Tabulka 3 – přiřazené subjektivní údaje k číselným hodnotám PMV podle ČSN EN ISO 7730 [28]

| | | | | | | | |
|---------------|------|---------|---------------|-----------|-------------|-------|-------|
| PMV [-] | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| Tepelný pocit | zima | chladno | mírně chladno | neutrálně | mírně teplo | teplo | horko |

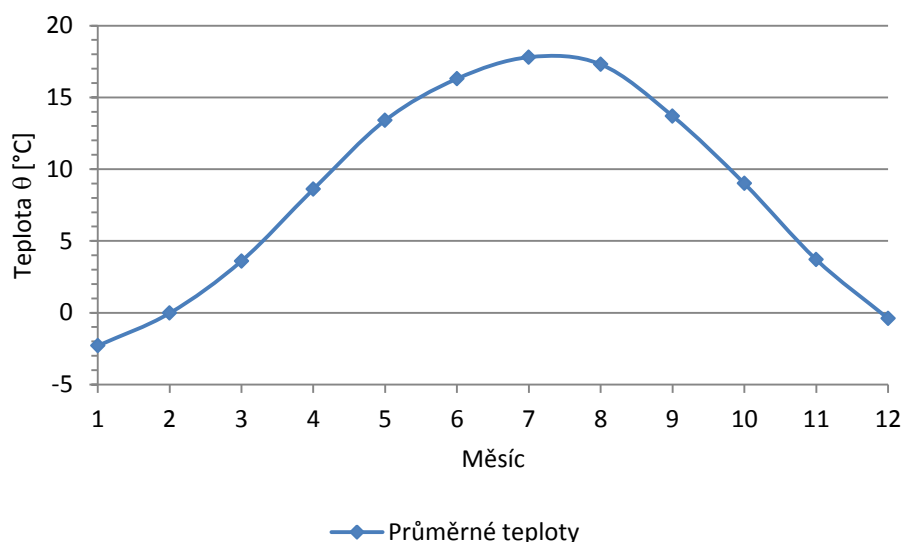
Ukazatel PPD , Predicted Percentage of Dissatisfied, tento výraz můžeme přeložit následovně procentuální podíl nespokojených, vyjadřuje poměrný počet osob, které jsou výrazně nespokojeni s daným tepelným prostředím. I v případě dodržení optimálních parametrů bude přibližně 5 % osob nespokojených. [3, s. 25]

2.2 Vnější prostředí

Stav venkovního prostředí je v daném místě určen jeho zeměpisnou polohou, roční a denní dobou, podnebím, aktuálním počasím a jinými parametry. Vnější prostředí ovlivňuje i vnitřní prostředí. [3, s. 9]

2.2.1 Teplota vzduchu

V blízkosti povrchu Země je teplota ovlivňována intenzitou sluneční radiace, absorpcí této radiace povrchem a prouděním vzduchu. Dále závisí na zeměpisné poloze, nadmořské výšce a roční i denní době. Na obrázku 1 je znázorněn průběh průměrných denních teplot pro město Zlín.

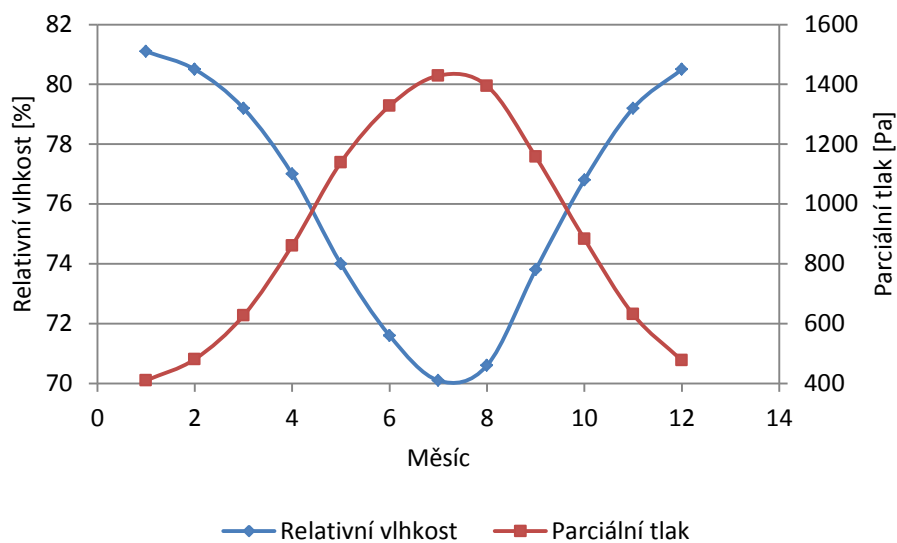


Obrázek 1 – Vývoj průměrných hodnot teploty pro město Zlín

Poznámka: Data průměrných hodnot teploty a relativní vlhkosti byly převzaty z výpočetního softwaru Stavební fyzika.

2.2.2 Vlhkost vzduchu

Vlhkost atmosférického vzduchu je ovlivněna nejen zeměpisnou polohou místa, intenzitou vodních srážek, blízkostí vodních ploch, ale i roční a denní dobou. Vývoj průměrných hodnot relativní vlhkosti je pro město Zlín znázorněn na obrázku 2 spolu s vývojem parciálního tlaku.



Obrázek 2 – Vývoj průměrných hodnot Relativní vlhkosti a parciálního tlaku pro město Zlín

2.2.3 Tlak vzduchu

Atmosférický tlak vzduchu je podle Daltonova zákona součtem parciálních tlaků jeho plynných složek a vodní páry. Výpočtová hodnota tlaku pro průměrnou nadmořskou výšku v České republice je 98 kPa. Hodnota 101,3 kPa, která je užívána při fyzikálních výpočtech, odpovídá tlaku vzduchu na hladině moře. Tlak vzduchu se s narůstající výškou snižuje. Tlak p [kPa] ve výšce h [km] se určí pomocí vztahu 2.3 [3, s. 15]

$$p = p_0 [1 - 2,256 \cdot 10^{-2} \cdot (h - h_0)]^{5,256} \quad (2.3)$$

kde p_0 je tlak v [kPa] příslušný k výšce h_0 [km].

2.3 Škodliviny v ovzduší

Přírodní i technické procesy produkují, tuhé a kapalné částice, plyny a páry, škodliviny, které mohou znečišťovat ovzduší. Škodliviny působí negativně na zdraví lidí, zvířata, rostliny a způsobují i snižování životnosti staveb a to jak ve venkovním, tak i ve vnitřním prostředí. [3, s. 27]

2.3.1 Vlastnosti

Tuhé částice, jsou rozptýlené v ovzduší a podle vzniku a složení se označují jako dým, kouř, popílek, aerosol nebo prach. Velikost částic je určena podle jejich charakteristického rozměru, průměr částice a [μm]. [3, s. 30]

Tabulka 4 – Rozměry prachových částic některých prachů [3, s. 30]

| Druh prachu | a [μm] |
|--------------------|-----------------------|
| Atmosférický prach | 0,1 – 1 |
| Uhelný prach | 10 – 300 |
| Cement | 7 – 100 |
| Tabákový kouř | 0,01 – 0,15 |

Kapalné částice vznikají v ovzduší kondenzací plynné fáze, nebo narušením většího objemu tekutiny. Vzniká mlha označována také jako aerodisperzní směs s velikostí částic 0,1 až 30 μm . [3, s. 31]

2.3.2 Zdroje znečišťování venkovního ovzduší

Ovzduší je znečišťováno přírodními i umělými zdroji. Znečišťování ovzduší je označováno jako emisní proces. Emise udávají tok znečišťující látky do ovzduší. Obsah těchto látek ve spodních vrstvách atmosféry lze označit jako imise. [3, s. 30]

V České republice jsou hlavními znečišťujícími látkami: tuhé částice, SO_2 , NO_x , CO, NH_3 , těkavé organické látky. [3, s. 30]

2.3.3 Zdroje znečišťování vnitřního ovzduší

V místnostech pobytu lidí se při dýchání uvolňuje do ovzduší oxid uhličitý a vodní pára. Vydechaný vzduch obsahuje přibližně 4 % oxidu uhličitého, 5 % vodní páry, 16 % kyslíku a 75 % dusíku a ostatních plynů. Vodní pára se uvolňuje i odpařováním z povrchu těla. Lidské tělo uvolňuje mimo uvedených látek do ovzduší i stopové množství mastných kyselin, které produkují při rozkladu pachy. [3, s. 34]

2.4 Hodnocení znečištění ovzduší

Obsah škodlivin se vyjadřuje pomocí koncentrací c , můžeme je rozlišovat podle koncentrace hmotnostní [mg/m^3], [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] nebo koncentrace objemové [cm^3/m^3]. Lze však použít i objemovou jednotku parts per million [ppm], $1 \text{ ppm} = 10^{-4} \%$. Přípustné koncentrace, které nejsou lidskému zdraví nebezpečné, popřípadě nepoškozují přírodní složky životního prostředí, jsou v každé zemi udávány národními závaznými předpisy. [3, s. 35]

2.4.1 Venkovní ovzduší

Imisní limity pro Českou republiku jsou stanoveny Nařízením vlády č. 350/2002 Sb., v souladu s právem Evropských společenství. Tímto nařízením se dále stanovují meze tolerance, cílové imisní limity a dlouhodobé imisní cíle. [5]

Tabulka 5 – Imisní limity některých znečišťujících látek v ČR [5]

| Znečišťující látka | Imisní limit c [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | | | |
|-------------------------------|---|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | 1 h | 8 h | 24 h | rok |
| Oxid siřičitý – SO_2 | 350 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | – | 125 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | 50 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] |
| Suspendované částice | – | – | 50 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | 20 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] |
| Oxidy dusíku – NO_x | 200 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | – | – | 40 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] |
| Oxid uhelnatý – CO | – | 10^4 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | – | – |

2.4.2 Vnitřní ovzduší

Nařízením vlády č. 523/2002 Sb. určuje mezní koncentrace vnitřního pracovního prostředí.

Přípustný expoziční limit – **PEL** [mg/m^3] je celosměnový vážený průměr koncentrací plynů, par nebo aerosolů, jemuž mohou být zaměstnanci vystaveni při osmihodinové pracovní době, aniž by u nich i při dlouhodobém vystavování této koncentrace došlo k poškození zdraví. **PEL** platí za předpokladu, že pracovní doba nepřesahuje 8 h a plicní ventilace zaměstnance nepřekračuje 20 l/min. [6]

Nejvyšší přípustná koncentrace – **NPK** jedná se o koncentraci, které zaměstnanec v žádném okamžiku pracovní směny nesmí být vystaven. [6]

3 TEPELNÉ VLASTNOSTI BUDOV

Zajištění tepelně technických požadavků poskytuje hlavně prevenci tepelně technických vad a poruch budov, tepelnou pohodu uživatelů, ochranu zdraví a zdravých životních podmínek. Po dobu ekonomicky přiměřené životnosti konstrukcí a budov se požaduje dodržení tepelně technických požadavků, za předpokladu běžné údržby a při působení běžně předvídatelných vlivů. [7, s. 7]

3.1 Šíření tepla konstrukcí

Problematika šíření tepla v konstrukci zkoumá například pokles vnitřní dotykové teploty na stěně sousedící s venkovním prostorem. Dalším důležitým parametrem je součinitel prostupu tepla a průměrný součinitel tepla budovy. Stručný popis těchto vybraných parametrů je uveden níže.

3.1.1 Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce

Vnitřní povrchovou teplotu θ_{si} je výhodné hodnotit v poměrovém tvaru jako teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} a to z toho důvodu, že f_{Rsi} je jednoznačnou vlastností konstrukce. [7, s. 8]

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_{ai} - \theta_e} = 1 - \frac{\theta_{ai} - \theta_{si}}{\theta_{ai} - \theta_e} \quad \theta_{si} = \theta_{ai} - (1 - f_{Rsi}) \cdot (\theta_{ai} - \theta_e) \quad (3.1)$$

$$f_{Rsi} = 1 - U_x \cdot R_{si}$$

kde U_x je lokální součinitel prostupu tepla v místě x vnitřního povrchu ve $[W/(m^2 \cdot K)]$,

R_{si} odpor při přestupu na vnitřní straně, pro výplně otvorů $R_{si} = 0,13 [(m^2 \cdot K/W)]$ a pro stavební konstrukce $R_{si} = 0,25 [(m^2 \cdot K/W)]$.

Přičemž konstrukce musí v zimním období splňovat podmínku $f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N}$ a to v každém místě konstrukce. Kde $f_{Rsi,N}$ je nejnižší požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu a stanoví se ze vztahu $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr}$, kde $f_{Rsi,cr}$ je kritický teplotní faktor vnitřního povrchu. [7, s. 8]

3.1.2 Součinitel prostupu tepla

Hodnota součinitele prostupu tepla je hodnocena dvěma kroky. Prvním krokem se rozumí porovnání součinitele prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce. Druhým krokem je porovnání průměrného součinitele prostupu tepla pro celou budovu. [7, s. 12]

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_e}} \quad (3.2)$$

kde h_i je přestup tepla na vnitřním povrchu stěny ve $[W/m^2 \cdot K]$,
 δ šířka konstrukce v $[m]$,
 λ tepelná vodivost $[W/m \cdot K]$,
 h_e přestup tepla na vnějším povrchu stěny ve $[W/m^2 \cdot K]$.

3.1.2.1 Součinitel prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce

Jednotlivé konstrukce u vytápěných budov s návrhovou relativní vlhkostí $\varphi_i \leq 60\%$ musí dosahovat součinitele prostupu tepla U $[W/(m^2 \cdot K)]$, aby byla splněna podmínka [7, s. 12]

$$U \leq U_N \quad (3.3)$$

kde U_N je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla podle normy ČSN 73 0540 – 2 [7].

Požadovaná hodnota U_N se stanovuje na základě převažující vnitřní návrhové teplotě θ_{im} , mohou nastat dvě varianty [7, s. 12]:

- θ_{im} je v intervalu 18 °C až 22 °C včetně, tak se U_N stanoví z tabulky 6
- θ_{im} je odlišná intervalu v předchozím případě, tak se postupuje podle vztahu:

$$U_N = U_{N,20} \cdot e_1 \quad (3.4)$$

kde $U_{N,20}$ je součinitel prostupu tepla z tabulky 6 ve $[W/(m^2 \cdot K)]$,
 e_1 součinitel typu budovy a stanoví se ze vztahu: $e_1 = 16/\theta_{im} - 4$,
 θ_{im} převažující vnitřní návrhová teplota $[°C]$.

Tabulka 6 – Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro vybrané konstrukce s převažující návrhovou vnitřní teplotou θ_{im} v intervalu 18 °C až 22 °C včetně [7, s. 13]

| Popis konstrukce | Součinitel prostupu tepla [W/(m ² · K)] | | |
|---|--|------------------------------------|---|
| | Požadované hodnoty $U_{N,20}$ | Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$ | Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$ |
| Stěna vnější | 0,30 | těžká: 0,25 lehká: 0,20 | 0,18 – 0,12 |
| Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně | 0,24 | 0,16 | 0,15 – 0,10 |
| Strop s podlahou nad venkovním prostorem | 0,24 | 0,16 | 0,15 – 0,10 |
| Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině | 0,45 | 0,30 | 0,22 – 0,15 |
| Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, mimo dveří | 1,50 | 1,20 | 0,80 – 0,60 |
| Dveřní výplň | 1,70 | 1,20 | 0,90 |

3.1.2.2 Průměrný součinitel prostupu tepla

Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m² · K)], musí splňovat podmínku [7, s. 16]:

$$U_{em} \leq U_{em,N} \quad (3.5)$$

kde $U_{em,N}$ je požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla.

Tato požadovaná hodnota se stanoví na základě převažující vnitřní návrhové teploty θ_{im} , mohou nastat dvě varianty [7, s. 16], kdy

- θ_{im} je v intervalu 18 °C až 22 °C včetně, pak se U_N stanoví z tabulky 7
- θ_{im} je odlišná intervalu v předchozím případě, pak se postupuje podle vztahu:

$$U_{em,N} = U_{em,N,20} \cdot e_1 \quad (3.6)$$

kde $U_{em,N,20}$ je průměrný součinitel prostupu tepla z tabulky 7,

e_1 součinitel typu budovy podle rovnice 3.4.

Doporučená hodnota $U_{em,rec}$ se vypočítá podle rovnice 3.7, tyto hodnoty se použijí tam, kde tomu nebrání technické nebo ekonomické překážky. [7, s. 17]

$$U_{em,rec} = 0,75 \cdot U_{em,N} \quad (3.7)$$

Požadovaná hodnota $U_{em,N}$ se stanoví pro každý objekt metodou referenční budovy, maximálně však hodnota podle tabulky 7. Referenční budovou je myšlen imaginární objekt stejných rozměrů, stejného dispozičního uspořádání jako objekt hodnocený. U referenční budovy se využijí hodnoty $U_{N,20}$ pro obvodové konstrukce a výplně otvorů. [7, s. 17]

$U_{em,N,20}$ referenční budovy se stanoví jako vážený průměr požadovaných hodnot součinitelů prostupu tepla, podle tabulky 6. [7, s. 17]

$$U_{em,N,20} = \sum \frac{U_{N,j} \cdot A_j \cdot b_j}{\sum A_j} + 0,02 \quad (3.8)$$

kde $U_{N,j}$ je normová požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla j -té konstrukce
 A_j plocha j -té konstrukce stanovená z vnějších rozměrů
 b_j teplotní redukční činitel odpovídající j -té konstrukci

Tabulka 7 – Požadované hodnoty průměrného součinitele tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou θ_{im} v intervalu 18°C až 22°C včetně [7, s. 13]

| | Požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla U_{en} [W/(m ² · K)] |
|--------------------|--|
| Nové obytné budovy | Výsledek výpočtu podle 3.8, maximálně však 0,50 |
| Ostatní budovy | Výsledek výpočtu podle 3.8 nejvýše však hodnota: Pro objemový faktor tvaru: $A/V \leq 0,2 \rightarrow U_{em,N,20} = 1,05$ $A/V > 1 \rightarrow U_{em,N,20} = 0,45$ Pro ostatní hodnoty A/V $U_{em,N,20} = 0,3 + 0,15/(A/V)$ |

kde A je zastavěná plocha v [m²],
 V zastavěný objem v [m³].

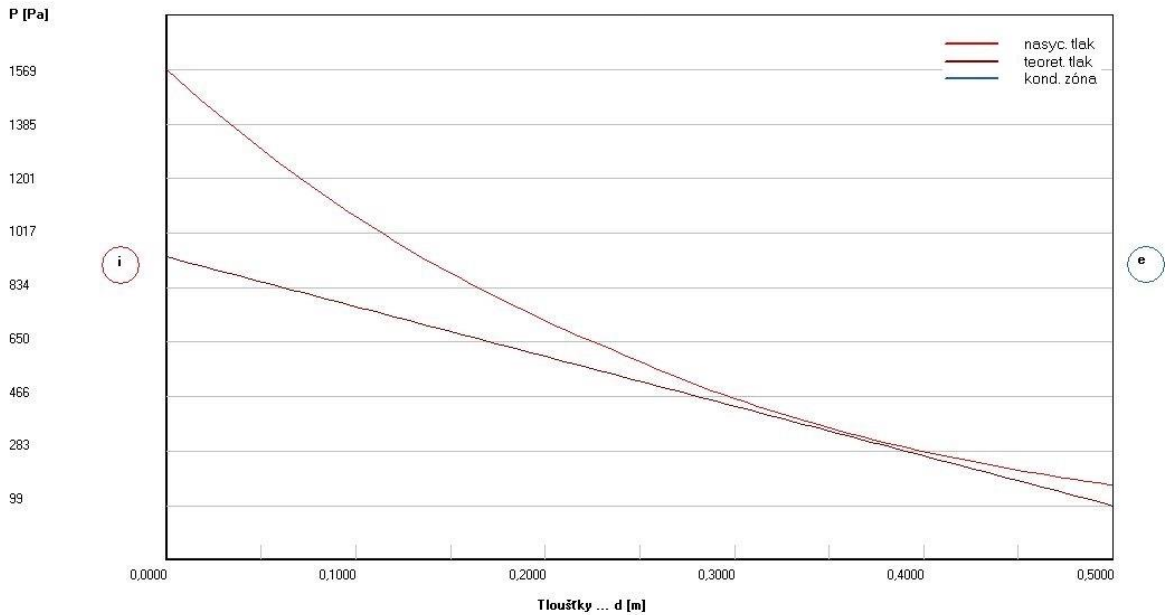
3.2 Šíření vlhkosti konstrukcí

Problematikou šíření vlhkosti je potřeba se zabývat, aby nedocházelo k nežádoucí kondenzaci vlhkosti uvnitř stavební konstrukce. Tato vlhkost by mohla způsobit vznik plísní na vnitřní straně stěn nebo poškození konstrukce, pokud by teplota klesla pod bod mrazu, hrozilo by zamrznutí zkondenzované vlhkosti v konstrukci.

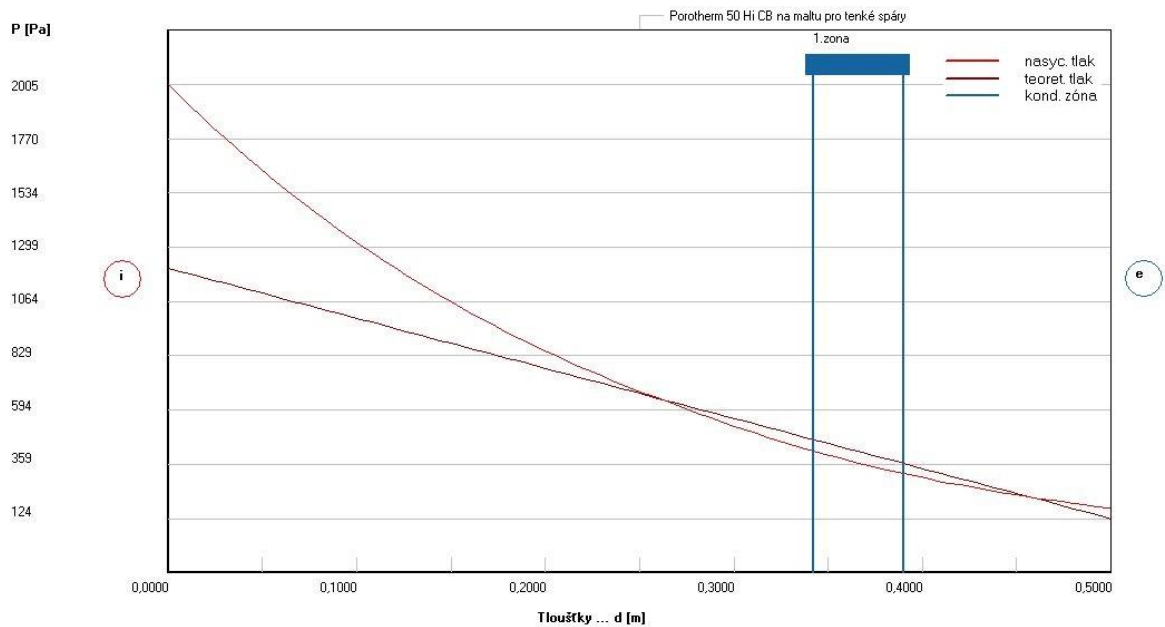
Na obrázku 3 a obrázku 4 jsou znázorněny dva případy prostupu vlhkostí konstrukcí. Na obrázku 3 ke kondenzaci nedochází, je patrné, že křivka nasyceného tlaku je v celé délce konstrukce nad křivkou teoretického tlaku. Na obrázku 4 naopak křivka nasyceného

tlaku zasahuje pod křivku teoretického tlaku a tím pádem ke kondenzaci vlhkosti v konstrukci dochází.

Pozn.: Obrázky 3 a 4 jsou pouze ilustrativní, byly vytvořeny pomocí výpočetního programu Teplo 2011 z balíčku programů Stavební fyzika.



Obrázek 3 – Šíření vlhkostí konstrukcí – bez kondenzace



Obrázek 4 – Šíření vlhkostí konstrukcí – s kondenzací

3.2.1 Zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce

Pro konstrukce, u kterých by zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce M_c [kg/(m² · a)], mohla poškodit jejich požadovanou funkci, nesmí dojít k žádné kondenzaci, platí tedy podmínka [7, s. 21]:

$$M_c = 0 \quad (3.9)$$

Poznámka: Ohrožením požadované funkce se běžně rozumí nezanedbatelné zkrácení plánované životnosti konstrukce, objemové změny a výrazné zvýšení konstrukce nad rámec rezerv statického výpočtu a další. [7, s. 21]

Pro konstrukce, u kterých by zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce neohrozila její požadovanou funkci, se maximální množství zkondenzované vodní páry omezuje podmínkou [7, s. 21]:

$$M_c \leq M_{c,N} \quad (3.10)$$

Pro konstrukci se zabudovanými dřevěnými prvky, konstrukci s vnějším tepelně izolačním systémem nebo vnějším obkladem, popřípadě jinou obvodovou konstrukci s difúzně málo propustnými vnějšími povrchovými vrstvami, se použije nižší hodnota z [7, s. 21]:

$$M_{c,N} = 0,10 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \quad (3.11)$$

Nebo u konstrukcí s objemovou hmotností vyšší než 100 kg/m³ se použijí 3 % plošné hmotnosti materiálu. Pro materiál s objemovou hmotností nižší nebo rovnou 100 kg/m³ se použije 6 % jeho plošné hmotnosti. [7, s. 21]

Pro ostatní konstrukce se použije nižší z hodnot [7, s. 21]:

$$M_{c,N} = 0,50 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \quad (3.12)$$

Nebo u konstrukcí s objemovou hmotností vyšší než 100 kg/m³ se použije 5 % plošné hmotnosti materiálu. Pro materiál s objemovou hmotností nižší nebo rovnou 100 kg/m³ se použije 10 % jeho plošné hmotnosti. [7, s. 21]

3.2.2 Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry uvnitř konstrukce

Ze stavební konstrukce s připuštěnou omezenou kondenzací vodní páry uvnitř konstrukce podle 3.2.1 se musí v roční bilanci kondenzace a vypařování vodní páry odpařit více vodní páry než jí v konstrukci zkondenzuje. Platí tedy podmínka [7, s. 21]:

$$M_c < M_{ev} \quad (3.13)$$

kde M_{ev} je množství vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukce [kg/(m² · a)]

3.3 Tepelná stabilita místnosti

3.3.1 Pokles výsledné teploty v místnosti v zimním období

Zvolená kritická místnost, která vykazuje na konci doby chladnutí t pokles výsledné teploty v místnosti v zimním období $\Delta\theta_v(t)$ [°C] podle vztahu [7, s. 26]:

$$\Delta\theta_v(t) \leq \Delta\theta_{v,N}(t) \quad (3.14)$$

kde $\Delta\theta_{v,N}(t)$ je požadovaná hodnota poklesu výsledné teploty v místnosti v zimním období v [°C], stanovená z tabulky 8

Tabulka 8 – Hodnoty poklesu výsledné teploty v místnosti v zimním období podle normy ČSN 73 0540 – 2 [7]

| Druh místnosti | Pokles výsledné teploty v místnosti v zimním období $\Delta\theta_{v,N}(t)$ [°C] |
|---|--|
| S pobytem lidí po přerušení vytápění: | |
| – při vytápění radiátory, sálavými panely a teplovzdušně | 3 |
| – při vytápění kamny a podlahovém vytápění | 4 |
| Bez pobytu lidí po přerušení vytápění: | |
| – při přerušení vytápění topnou přestávkou: | |
| – budova masivní | 6 |
| – budova lehká | 8 |
| – při předepsané nejnižší výsledné teplotě $\theta_{v,min}$ | $\theta_i - \theta_{v,min}$ |
| – při skladování potravin | $\theta_i - 8$ |
| – při nebezpečí zamrznutí vody | $\theta_i - 1$ |

Poznámka: θ_i je vnitřní návrhová teplota podle ČSN 73 0540 – 3 [29].

Jako kritická místnost se volí místnost s nejvyšším průměrným součinitelem prostupu tepla konstrukcí místností podle ČSN 73 0540 – 4 [30]. Většinou se jedná o rohovou místnost pod střechou. Pokud je možné podle tabulky 8 pro ověřovanou místnost stanovit několik požadovaných hodnot $\Delta\theta_{v,N}(t)$, tak se místnost ověřuje pro nejnižší z těchto hodnot. Nejnižší výsledná teplota $\theta_{v,min}$ je většinou dána požadavkem investora. [7, s. 26]

3.3.2 Tepelná stabilita místnosti v letním období

Zvolená kritická místnost, která vykazuje nevyšší denní teplotu v místnosti v letním období $\theta_{ai,max}$ [°C], musí splňovat podmínku [7, s. 26]:

$$\theta_{ai,max} \leq \theta_{ai,max,N} \quad (3.15)$$

kde $\theta_{ai,max,N}$ je nejvyšší hodnota požadované teploty v letním období, která se stanoví z tabulky 9.

Tabulka 9 – Nejvyšší požadované hodnoty denní teploty vzduchu v letním období $\theta_{ai,max,N}$ [°C]

| Druh budovy | | $\theta_{ai,max,N}$ [°C] |
|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Nevýrobní * | | 27,0 |
| Ostatní s vnitřním zdrojem tepla | do 25 W/m ³ včetně | 29,5 |
| | nad 25 W/m ³ | 31,5 |

Poznámka: * U bytových budov je možné překročení požadované hodnoty maximálně o 2 °C na souvislou dobu maximálně 2 h, pokud s tím investor souhlasí.

Jako kritická místnost se volí místnost s největší plochou přímo osluněných výplní otvorů orientovaných na Z, JZ, J, JV, V. Hodnocení se provádí bez započtení vnitřních zisků v místnosti.

3.4 Tepelná ztráta budovy

Znát tepelné ztráty místností, budovy, je nezbytné pro návrh vytápěcích zařízení, které zajišťují v budovách požadované mikroklimatické podmínky v zimním období. [3, s. 48]

Celková tepelná ztráta budovy u vytápěného prostoru se vypočte ze vztahu [8, s. 18]:

$$\Phi = ((\Phi_T + \Phi_V) \cdot f_{\Delta\theta}) + \Phi_{RH} \quad (3.16)$$

kde Φ_T je tepelná ztráta prostupem tepla u vytápěného prostoru ve [W],
 Φ_V tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru ve [W],
 $f_{\Delta\theta}$ teplotní korekční činitel zohledňující dodatečné tepelné ztráty místnosti vytápěné na vyšší teplotu než mají sousední vytápěné místnosti. Teplota stejná s okolními místnostmi $f_{\Delta\theta} = 1$, teplota vyšší $f_{\Delta\theta} = 1,6$,
 Φ_{RH} zátopný tepelný výkon pro vyrovnání účinků přerušovaného vytápění.

3.4.1 Tepelná ztráta prostupem tepla

Tepelné ztráty prostupem závisí na tepelně-izolačních vlastnostech budovy, ploše stěny a rozdílu teplot na vnitřním a vnějším povrchu stěny.

$$\Phi_T = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot (\theta_{i,k} - \theta_e) \quad (3.17)$$

- kde A_k plocha stavební části (k) v $[m^2]$,
 U_{kc} korigovaný součinitel prostupu tepla stavební části (k), kde $U_{kc} = U_k + \Delta U$ ve $[W/(m^2 \cdot K)]$,
 U_k součinitel prostupu tepla stavební části (k) ve $[W/(m^2 \cdot K)]$,
 ΔU korekční součinitel, přírážka na tepelné mosty ve $[W/(m^2 \cdot K)]$,
 θ_i požadovaná teplota vnitřního vzduchu v $[^\circ C]$,
 θ_e výpočtová teplota vnějšího vzduchu v $[^\circ C]$.

3.4.2 Tepelná ztráta větráním

$$\Phi_V = \frac{V_{min,i}}{3600} \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_{i,i} - \theta_e) \quad (3.18)$$

- kde $V_{min,i}$ je hygienicky nejmenší požadované množství vzduchu pro vytápěný prostor (i) v $[m^3/h]$,
 ρ hustota vzduchu při θ_e v $[kg/m^3]$,
 c měrná tepelná kapacita vzduchu v $[J/(kg \cdot K)]$.

Tepelná ztráta je ovlivněna minimálním množstvím čerstvého vzduchu to se určí ze vztahu [8, s. 27]:

$$V_{min} = n_{min} \cdot V \quad (3.19)$$

- kde n_{min} je minimální intenzita výměny venkovního vzduchu v $[h^{-1}]$,
 V objem vytápěného prostoru v $[m^3]$.

Tabulka 10 – Minimální intenzita výměny vzduchu n_{min} [8, s. 64]

| Druh místnosti | $n_{min} [h^{-1}]$ |
|-------------------------------|--------------------|
| Obytná místnost | 0,5 |
| Kuchyně nebo koupelna s oknem | 1,5 |
| Kancelář | 1,0 |
| Zasedací místnost, učebna | 2,0 |

3.4.3 Zátopný tepelný výkon přerušovaného vytápění

Stanovuje se pouze v případě, pokud je v budově využito přerušované vytápění, vyrovnává účinky poklesu teploty v budově. [8, s. 32]

$$\Phi_{RH} = A_i \cdot f_{RH} \quad (3.20)$$

kde A_i je podlahová plocha vytápěného prostoru (i) v $[m^2]$

f_{RH} zátopný součinitel závislý na druhu budovy, stavební konstrukci apod.

Tabulka 11 – Vybrané hodnoty zátopného součinitele f_{RH} pro nebytové budovy s útlumem nejvýše 12h [8, s. 65]

| Doba zátoku h | $f_{RH} [W/m^2]$ | | | | | |
|--------------------|--|---------|--------|-----------------|---------|--------|
| | Předpokládaný pokles vnitřní teploty během teplotního útlumu | | | | | |
| | 2 K | | | 3 K | | |
| | Hmotnost budovy | | | Hmotnost budovy | | |
| | nízká | střední | vysoká | nízká | střední | vysoká |
| 1 | 18 | 23 | 25 | 27 | 30 | 27 |
| 2 | 9 | 16 | 22 | 18 | 20 | 23 |

3.5 Tepelné zisky budovy

Tepelné zisky budovy, jednotlivých místností, je potřeba určit, aby bylo možné správně dimenzovat klimatizační zařízení. Výpočet tepelných zisků budovy je popsán v normě ČSN 73 0548 [9].

3.5.1 Tepelné zisky od vnitřních zdrojů tepla

Mezi vnitřní zdroje tepla patří produkce tepla lidí, svítidel, strojů a podobně. [9, s. 6]

3.5.1.1 Produkce tepla od lidí

Zahrnuje se pouze teplo citelné. Je závislé na tělesné práci, teplotě vzduchu a na složení skupiny lidí. Základní výpočtovou hodnotou se uvažuje citelné teplo muže 62 W při mírné aktivní práci a při teplotě vzduchu 26 °C. [9, s. 6]

Pokud by teplota byla rozdílná, provádí se korekce podle vztahu [9, s. 7]:

$$\dot{Q}_1 = i_1 \cdot 6,2 \cdot (36 - \theta_1) \quad (3.21)$$

kde i_1 je počet lidí

θ_1 teplota v místnosti v $[^\circ C]$.

Produkce citelného tepla u mužů, žen a dětí je rozdílná, proto se zavádí přepočít, který nám vyčíslí ekvivalentní počet lidí. [9, s. 7]

$$i = 0,85i_z + 0,75i_d + i_m \quad (3.22)$$

kde i_z, i_d, i_m je počet žen, dětí a mužů.

3.5.1.2 *Produkce tepla od svítidel*

S produkcí tepla od svítidel se počítá, jsou-li svítidla v provozu i v době největších tepelných zisků, převážně kina, divadla apod., a tam kde není denní osvětlení dostatečné, například v rýsovnách. Dále se počítá s tepelnými zisky od osvětlení v místnostech, které jsou rozlehlé, s těmito teplotními zisky se pak počítá ve větších vzdálenostech jak 5 m od okna. U klasických žárovek se počítá s hodnotou 21 – 25 W/m² a u zářivek se počítá s hodnotou v rozmezí 5 – 7 W/m². [9, s. 7]

3.5.1.3 *Produkce tepla od technologií*

Jedná se například o teplo vzniklé při práci elektromotorů, toto teplo se vypočítá podle vztahu [9, s. 8]:

$$\dot{Q}_m = c_1 \sum \left(c_2 \cdot c_3 \cdot \frac{\dot{N}}{\eta_m} \right) \quad (3.23)$$

kde \dot{N} je štítkový výkon elektromotoru ve [W],

c_1 součinitel současnosti chodu všech motorů [–],

c_2 zbytkový součinitel při odsávání, bez odsávání $c_2 = 1$,

c_3 průměrné zatížení stroje [–],

η_m účinnost elektromotoru [–].

Teplo také produkují elektrotechnická zařízení, například televize, počítače, tiskárny apod., v případě že je celkový trvalý příkon menší než 100W, nemusí se tento zdroj uvažovat.

3.5.1.4 *Jiné zdroje tepla*

Pokud se ve zkoumané místnosti nacházejí předměty s povrchovou teplotou jinou, než je teplota vzduchu, počítá se s přestupem tepla, jedná se například o potrubí. [9, s. 9]

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta\theta_m \quad (3.24)$$

kde h je součinitel přestupu tepla konvekcí a sáláním ve [W/(m² · K)],

A teplosměnná plocha v [m²],

$\Delta\theta_m$ střední rozdíl teplot v [K].

3.5.2 Tepelné zisky z vnějšího prostředí

Tepelné zisky z vnějšího prostředí jsou důležité zejména u lehkých staveb s velkými zasklenými plochami. Orientace a zastínění oken mají vliv na tepelnou pohodu v objektu. [9, s. 10]

3.5.2.1 Tepelná zátěž okny

Celková tepelná zátěž okny se skládá ze dvou složek, prostupem tepla konvekcí a prostupem tepla sluneční radiací. [9, s. 10]

Prostup tepla konvekcí se vypočítá podle vztahu [9, s. 10]:

$$\dot{Q}_{ok} = U_o \cdot A_o \cdot (\theta_e - \theta_i) \quad (3.25)$$

kde U_o je součinitel prostupu tepla oknem ve $[W/(m^2 \cdot K)]$,

A_o plocha okna včetně rámu v $[m^2]$.

Prostup tepla sluneční radiací se vypočítá ze vztahu [9, s. 11]:

$$\dot{Q}_{or} = [A_{os} \cdot \dot{I}_o \cdot c_o + (A_o - A_{os}) \cdot \dot{I}_{o\ dif}] \cdot s \quad (3.26)$$

kde A_{os} je osluněný povrch okna v $[m^2]$,

\dot{I}_o celková intenzita sluneční radiace ve $[W/m^2]$,

c_o korekce na čistotu atmosféry,

$\dot{I}_{o\ dif}$ intenzita difúzní sluneční radiace ve $[W/m^2]$,

s stínící součinitel.

Plocha okna, která je osluněna se pak stanoví [9, s. 11]:

$$A_{os} = [l_A - (e_1 - f)] \cdot [l_B - (e_2 - g)] \quad (3.27)$$

kde l_A, l_B je šířka a výška zasklené části okna $[m]$,

f, g odstup svislé a vodorovné části okna od slunolamů $[m]$,

e_1, e_2 délky stínů v okenním otvoru od okraje slunolamů $[m]$,

d hloubka okna $[m]$,

c hloubka okna vzhledem k horní stínící desce $[m]$.

3.5.2.2 Tepelné zisky stěnami

Při výpočtu tepelných zisků stěnami se dosazují teploty vzduchu na vnitřní i vnější straně stěny. Pokud je stěna osluněna dosazuje se rovnocenná sluneční teplota vzduchu [9, s. 12]:

$$\theta_r = \theta_e + \frac{\varepsilon \dot{I}}{h_e} \quad (3.28)$$

kde i je intenzita přímé a difuzní sluneční radiace dopadající na stěnu [W],
 ε součinitel poměrné tepelné pohltivosti pro sluneční radiaci,
 h_e viz. rovnice 3.2.

Venkovní stěny je pro usnadnění výpočtu možné rozdělit do tří kategorií [9, s. 13]:

- Stěny lehké

Tepelná kapacita i fázová posunutí teplotních kmitů jsou tak malá, že se proces prostupu tepla dá považovat jako ustálený. Toto platí zhruba pro tloušťku stěn $\delta < 0,08$ m. Prostup tepla se pak určí ze vztahu [9, s. 13]:

$$\dot{Q}_s = U \cdot A \cdot (\theta_r - \theta_i) \quad (3.29)$$

- Stěny středně těžké

U těchto stěn je potřeba zohledňovat ovlivnění prostupu tepla kolísáním teplot. Uvažuje se pro stěny v rozmezí tloušťek 0,08 m až 0,45 m. Prostup tepla se pak určí ze vztahu [9, s. 13]:

$$\dot{Q}_s = U \cdot A \cdot [(\theta_{rm} - \theta_i) + m \cdot (\theta_{r\psi} - \theta_{rm})] \quad (3.30)$$

kde θ_{rm} je průměrná rovnícenná sluneční teplota vzduchu za 24 h v [°C],
 $\theta_{r\psi}$ rovnícenná sluneční teplota v době o ψ dřívější v [°C],
 m součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu tepla stěnou [-].

- Stěny těžké

Vzhledem k vysoké tepelné kapacitě lze kolísání teplot na vnitřním povrchu zanedbat. Jedná se o stěny s tloušťkou $\delta \geq 0,45$ m. Prostup tepla se pak určí ze vztahu [9, s. 13]:

$$\dot{Q}_s = U \cdot A \cdot (\theta_{rm} - \theta_i) \quad (3.31)$$

4 VĚTRÁNÍ

Větráním se rozumí výměna vzduchu v uzavřeném prostoru za vzduch venkovní. Výměnu vzduchu lze provádět v časových intervalech, občasné větrání, nebo po celou dobu provozu, trvalé větrání. Volba občasného, nebo trvalého větrání je závislá na vývinu škodlivin, které musí být pod přípustnou mezí. [3, s. 53]

Pro každý prostor je potřeba stanovit potřebné průtoky venkovního vzduchu tak, aby v pracovní oblasti byla koncentrace škodlivin stále pod přípustnou mezní hodnotou. Orientačně lze vyjádřit výměnu vzduchu v prostoru jako intenzitu větrání n [1/h] [3, s. 53].

$$n = \frac{\dot{V}_p}{V} \quad (4.1)$$

kde \dot{V}_p je objem přiváděného čerstvého vzduchu v [m³/h]
 V objem větraného prostoru v [m³]

V místnostech, u kterých je uvažován pohyb lidí, je potřeba zajistit větráním výměnu vzduchu v dávkách na osobu, které jsou určeny hygienickým předpisem. Minimum přiváděného vzduchu lze určit z Pettenkoferova kritéria, kdy koncentrace CO₂ by měla být nižší než 0,1 %. Když rozšíříme zadání o hodnoty $\dot{V}_1 = 0,5$ m³/h, což udává množství vzduchu, které vydýchá jeden člověk za hodinu, $k_1 = 4\%$ udávající koncentraci CO₂ ve vydechaném vzduchu a jako poslední hodnotu $k_a = 0,035\%$, hodnota CO₂ v přiváděném vzduchu, lze vypočítat minimální množství čerstvého vzduchu potřebného pro jednoho člověka na základě již zmíněné Pettenkoferovy koncentrace CO₂.

$$\dot{V} = \frac{k}{k_i - k_a} = \frac{0,5 \cdot 0,04}{0,001 - 0,00035} = 30,77 \text{ m}^3/\text{h} \quad (4.2)$$

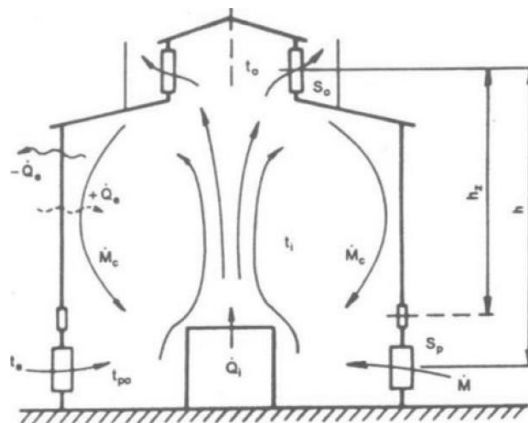
Jedná se o koncentraci potřebnou v místnostech bez technologických zdrojů škodlivin a se zákazem kouření. [3, s. 53]

V případech vzduchotechnických jednotek, kdy se čerstvý vzduch mísí se vzduchem odpadním, nesmí podíl čerstvého vzduchu klesnout pod stanovenou mez určenou druhem a účelem zařízení. Tato mez podílu čerstvého vzduchu je obvykle 10 % až 15 %. [3, s. 53]

4.1 Přírozené větrání

Přírozené větrání je způsobeno tlakovými rozdíly a to jednak rozdílem měrných tíh vzduchu, způsoben převážně rozdílem teplot uvnitř a vně budovy a dále pak dynamickým účinkem větru na zkoumanou budovu. [3, s. 66]

- Infiltrace – přírozené větrání spárami oken a dveří. S ohledem na to, že průtok vzduchu je závislý na venkovních klimatických podmínkách, nedá se účelně regulovat. Největší je v zimním období a také větrných dnech, způsobuje nemalé ztráty tepla. Infiltraci se snažíme co nejvíce omezit a to například dobrým utěsněním spár nebo přetlakovým nuceným větráním místnosti. [3, s. 67]
- Provětrávání – přírozené větrání otevřeným oknem. Běžný způsob větrání obytných místností nebo školních učeben. Pokud se dodržuje zásada větrat krátce, často a velkými průřezy, lze říci, že se jedná o energeticky úsporný způsob větrání. [3, s. 68]
- Aerace – celkové přírozené větrání s regulovatelnými větracími otvory ve stěnách a ve střeše. Tento způsob větrání je velice rozšířen v průmyslovém provozu, převážně pak v provozech, kde je vysoký zisk od zdrojů tepla. Na obrázku 5 je znázorněno schéma aerace. [3, s. 68]



Obrázek 5 – Schéma aerace [3, s. 68]

- Šachtové větrání - u tohoto způsobu větrání je vzduch z místnosti odváděn svislou šachtou, která ústí nad střechou budovy. Používá se v průmyslu k odvodu škodlivin stabilního stroje s postačující produkcí konvekčního tepla a v obytných budovách do pěti pater. [3, s. 69]

4.2 Nucené větrání

Systém nuceného větrání tvoří účinnou soustavu, kterou lze docílit řízené výměny vzduchu s ohledem na aktuální koncentraci škodlivin v ovzduší. [10]

4.2.1 Celkové větrání

Nucené větrání zajišťuje výměnu vzduchu nezávisle na vnějších klimatických podmínkách. Vůči přirozenému větrání má i další přednosti, například nucené větrání umožňuje regulovat intenzitu větrání podle potřeb, vzduch filtrovat a teplotně i vlhkostně jej upravovat, lze také zpětné využití tepla z odpadního vzduchu. [3, s. 69]

Podle tlaku ve větraném prostoru vzhledem k okolním prostorům rozlišujeme přetlakové, podtlakové, nebo rovnotlaké větrání. [3, s. 69]

Zařízení k nucenému větrání jsou buď jednotková, nebo ústřední. Přiváděcí jednotky se obvykle skládají z filtru, ohřívače, ventilátoru, směšovací a výfukové komory. Jednotková zařízení se často instalují do větraného prostoru, díky svým rozměrům jsou předurčené pro instalaci do parapetu. [3, s. 70]

Lze také využít kombinace nuceného a přirozeného větrání a to takovým způsobem, že nuceně přivádíme pouze přívodní vzduch a pro odvod vzduchu z místnosti využijeme přetlaku. [3, s. 70]

4.2.1.1 Druhy větracích zařízení

Nutnost větrání je způsobena znehodnocením vnitřního vzduchu výrobní činností nebo pobytem lidí. Výkonnost větrání se stanovuje na základě hygienických předpisů, zmíněných na začátku kapitoly. Podle účelu lze rozlišovat větrací zařízení [3, s. 71]:

- Komfortní – především určena pro prostory, kde se pohybují nebo shromažďují lidé. Mezi hlavní škodliviny se řadí především vydechané CO_2 a tepelná produkce od lidí. Dimenzování zařízení se provádí pomocí dávky čerstvého vzduchu na osobu z maximálního počtu osob. [3, s. 71]
- Průmyslová – především pro výrobní prostory. Zařízení je dimenzováno na základě produkce škodlivin a přípustných koncentrací, nebo podle tepelné nebo vlhkostní zátěže a požadovaného stavu vzduchu v pracovní oblasti. [3, s. 71]

- Technologická – vyžadovaná technologií, kontrolní měřicí místnosti, haly zemědělské živočišné velkovýroby, bez nichž by výroba nebyla možná nebo by neměla požadovanou kvalitu. [3, s. 72]

Při návrhu větracích zařízení je nutné brát v potaz nejenom přírodní zákony, ale také požadavky typu: předpisy požární ochrany, hygienické směrnice, předpisy pro bezpečnost a ochranu zdraví osob, výše investičních nákladů a další. [3, s. 72]

4.2.2 Místní větrání

Při užití místního větrání se vzduch vymezuje pouze v omezeném prostoru, ve kterém se pohybují pracovníci. Účelem je ochrana proti nežádoucím vlivům okolního prostředí. [3, s. 73]

- Vzduchové oázy – jedná se o místní přívod vzduchu k vytvoření vyhovujících podmínek pracovníků k výkonu či řízení výroby, popřípadě pro odpočinek během pracovní doby. [3, s. 73]
- Vzduchové sprchy – využívají se především k ochraně člověka proti sálavému teplu. Vzduchová sprcha slouží ke zvýšení rychlosti proudění kolem člověka a tím dochází k navýšení součinitele přestupu tepla konvekcí na povrchu osálaného oděvu. Ochrana před sálavým teplem spočívá v tom, aby teplo přiváděné k pokožce bylo co nejmenší, toho jde dosáhnout zvětšením tepelné odrazivosti oděvu, tepelného odporu oděvu, součinitele přestupu tepla konvekcí na povrchu oděvu. [3, s. 73 – 74]
- Vzduchové clony – jsou určeny k omezení průtoku vzduchu přípojnými otvory mezi prostory s rozdílným tlakem. Jsou používány například u vrat v průmyslových halách nebo v obchodních domech. Clony brání pronikání chladného vzduchu, v zimním období, a tím snižují tepelné ztráty a umožňují v blízkosti těchto prostor situovat pracoviště nebo prodejní prostor. [3, s. 74]

5 SYSTÉMY TECHNIKY PROSTŘEDÍ

Tvorba mikroklimatu v objektu je zajištěna otopnými tělesy a teplovzdušným větráním. Tato kapitola se také zabývá nejen návrhem spotřeby teplé vody, ale i popisem zvoleného zdroje tepla, kterým byla určena výměňiková stanice.

5.1 Rozvod vzduchu

Rozvod vzduchu je potřebný, pokud je objekt větrán, nebo klimatizován centrálně pomocí sítě vzduchovodů.

5.1.1 Sítě vzduchovodů

Vzduchovody jsou určené ke spojení ventilátorů s koncovými prvky, výústkami. Pro správnou funkci celého systému je potřebné správné navržení celého systému. [3, s. 107]

Vzduchovody lze rozdělit do dvou skupin [3, s. 107]:

- Vzduchovody tvořené stavební konstrukcí budovy – jedná se o zděné nebo betonové kanály velkých průřezů. Je nezbytné, aby jejich profil byl průlezný a umožňoval tím čištění kanálů. Jejich životnost je shodná s životností budovy. Uplatňují se především při výstavbě průmyslových hal.
- Vzduchovody zhotovené odděleně od stavby budovy – tyto vzduchovody jsou mechanicky připevněny na konstrukci budovy. Mohou být vyhotoveny z pozinkovaného ocelového plechu, hliníkového plechu, laminovaných pryskyřic, tvrzených plastů. Na výběr materiálu mají vliv požadavky na požární bezpečnost.

Potrubí pro vzduchotechniku může být vyrobeno s kruhovým nebo čtyřhranným průřezem. Kruhové potrubí je výhodnější z hlediska spotřeby materiálu, na stejný průřez kruhového potrubí je spotřebováno méně materiálu. Čtyřhranné potrubí se může lépe přizpůsobovat stavbě, používá se především k rozvodům při větrání, nebo při nízkotlaké klimatizaci. Kruhové potrubí má menší aerodynamické ztráty a generuje se v něm proto méně hluku, lze u něj také dosáhnout větší těsnosti. Aby se předešlo velkým tepelným ztrátám a kondenzaci vlhkosti, opatří se vzduchovody tepelnou izolací. Při kondenzaci uvnitř potrubí se potrubí vybuduje se spádem a vybaví se odvodňovací smyčkou, nebo vypouštěcím ventilem. [3, s. 107]

5.1.2 Proudění vzduchovody

Pro řešení praktických úloh se téměř výhradně využívá Eulerovy integrální metody. Tato metoda sleduje průtok tekutiny uzavřenou nepohyblivou kontrolní plochou. Společně s podmínkou kontinuity proudu, podle níž pro ustálené proudění se hmotnostní průtok \dot{m} vymezeným úsekem potrubí o průřezu A nemění. Metoda využívá dvou integrálních rovnic: zobecněné Bernoulliovy rovnice a věty o hybnosti. [3, s. 109]

$$\dot{m} = \rho \cdot w \cdot A \quad (5.1)$$

kde \dot{m} je hmotnostní průtok v [kg/s],
 ρ hustota vzduchu v [kg/m³],
 w rychlost proudění vzduchu v [m/s],
 A průřez potrubí v [m²].

5.1.3 Výpočet sítě vzduchovodů

Vzduchovody obvykle tvoří vzduchovodní síť, které se skládají z větví. Síť mohou být velice členité. Jednotlivé větve vzduchovodní sítě se dělí na úseky, části, v nichž se nemění průtok a rychlost vzduchu. Hlavní větví se považuje větev s největším tlakem, potřebným k dopravě příslušného tlaku. [3, s. 107]

Aerodynamický výpočet rozvodu vzduchu je založen na proudění tekutiny potrubím. Vzduch lze považovat za fyzikální kontinuum a ke zkoumání jeho pohybu, což znamená vyjádření jeho středních veličin, které určují jeho stav, si jej částečně idealizujeme. [3, s. 109]

5.1.3.1 Tlakové poměry v potrubní síti

Součet tlaků, statického a dynamického, v jednom průřezu musí být roven součtu těchto tlaků a tlakové ztrátě. Tento součet musí být vždy konstantní. Součet statického a dynamického tlaku je označován jako tlak celkový. [3, s. 127]

$$p_c = p + p_d \quad (5.2)$$

kde p_c je tlak celkový v [Pa],
 p tlak statický v [Pa],
 p_d tlak dynamický $p_d = \rho \cdot w^2/2$ [Pa],

Tlaková ztráta pak v uvažovaném úseku je vyjádřena:

$$\Delta p_{z1,2} = p_{c1} - p_{c2} \quad (5.3)$$

5.1.3.2 Metodika návrhu potrubních sítí

Existuje několik variant návrhu vzduchovodů.

- Metoda návrhu rychlosti – u této metody návrhu vybereme rychlosti v hlavních a vedlejších větvích, aby splňovaly meze doporučených hodnot. Vypočítají se průměry a tlakové ztráty v úsecích. [3, s. 129]
- Metoda stálého tlakového spádu – u této metody je snahou udržet konstantní tlakový spád v celé síti vzduchovodů, nebo v jejich částech. Maximální a doporučené rychlosti lze použít jako vodítko pro určení tlakového spádu. [3, s. 130]
- Metoda zisků statického tlaku – úseky v potrubní síti jsou obvykle ohraničeny odbočením části proudu. Na trase od ventilátoru ke konci výtlačné větve zmenšujeme vhodně rychlost v potrubí za každým úsekem. Dojde tak k přeměně části dynamického tlaku na tlak statický. [3, s. 130]

Kromě těchto uvedených způsobů existuje hned několik dalších způsobů návrhu potrubních sítí. [3, s. 132]

5.2 Vytápění

Při řešení vytápěcích soustav je potřebné vypočítat nejprve otopný příkon \dot{Q}_p ve W, potřebný pro zajištění optimální teploty vnitřního prostředí θ_i v °C, při zvolené nejnižší venkovní teplotě θ_e v °C. Otopný příkon se většinou počítá z podmínek tepelné rovnováhy vytápěného prostoru v ustáleném stavu. Je potřebné rozlišovat konvektivní a sálavé vytápění. [3, s. 179]

5.2.1 Převážně konvektivní vytápění

Při tomto vytápění ohřívá otopná plocha vnitřní vzduch, který potom předává teplo ochlazeným stěnám, které ohraničují vytápěný prostor. V tomto případě je střední teplota povrchu stěn nižší než teplota vzduchu. Tepelná rovnováha vytápěného prostoru je pak vyjádřena rovnicí [3, s. 179]:

$$h_p \cdot A_p \cdot (\theta_p - \theta_i) = \sum [U_n \cdot A_n \cdot (\theta_i - \theta_{em})] + c_p \cdot \dot{m}_L \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (5.4)$$

kde h_p je součinitel přestupu tepla otopného tělesa ve $[W/(m^2 \cdot K)]$,
 A_p plocha otopného tělesa v $[m^2]$,
 U_n součinitel prostupu tepla n-té konstrukce ve $[W/(m^2 \cdot K)]$,
 A_n plocha n-té stěny v $[m^2]$,
 c_p měrná tepelná kapacita přiváděného vzduchu v $[J/(kg \cdot K)]$,
 \dot{m}_L hmotnostní průtok přiváděného vzduchu v $[kg/s]$,
 θ_i teplota vnitřního vzduchu v $[^\circ C]$,
 θ_e teplota vnějšího vzduchu v $[^\circ C]$,
 θ_{em} střední teplota vnitřního povrchu stěn v $[^\circ C]$,
 θ_p střední teplota otopného tělesa v $[^\circ C]$.

5.2.1.1 Součinitel prostupu tepla U a měrný tepelný výkon q otopných těles

U běžně používaných otopných těles jsou hodnoty součinitele prostupu tepla U , případně i měrného tepelného výkonu q , uváděny v příslušných normách nebo datových listech výrobců. [3, s. 179]

5.2.1.2 Vliv rozmístění otopných těles v místnosti na jejich vytápěcí účinek

Vytápěcí účinek otopných těles je závislý zejména na jejich rozmístění ve vytápěné místnosti. Největších vytápěcích účinků lze dosáhnout, jestliže otopná tělesa vytápí oblast pobytu člověka pokud možno co nejrovnoměrněji. Vytápěcí účinek lze vyjádřit jako poměr mezi teoretickým příkonem potřebným ke krytí tepelných ztrát vytápěné místnosti a skutečným tepelným příkonem. [3, s. 185]

$$\varepsilon = \frac{Q_{teor}}{Q_{skut}} \quad (5.5)$$

kde ε je vytápěcí účinek v $[-]$,
 Q_{teor} teoretický tepelný příkon ve $[W]$,
 Q_{skut} skutečný tepelný příkon ve $[W]$.

Vytápěcí účinek ve skutečných případech může dosahovat hodnot od 0,7 do 1,3. Hodnot nad 1 dosahuje v případech příznivého rozmístění těles, u ochlazovaných venkovních stěn, naopak hodnot pod 1 se dosahuje u nepříznivého rozmístění těles u vnitřních stěn. Na vytápěcí účinek má určitý vliv i výška otopného tělesa, povrchová teplota a podíl sálání. Vytápěcí účinek je příznivější, při malé výšce, nízké povrchové teplotě a velkém

podílu sálání. Vliv těchto faktorů souvisí s vertikální nerovností teploty vzduchu v místnosti, která je tolikrát větší, kolikrát je menší intenzita cirkulace vzduchu v místnosti, která je dána rovnicí [3, s. 185]

$$Q = c_v \cdot \rho_v \cdot (r \cdot O) \cdot (\theta_v - \theta_i) \quad (5.6)$$

kde Q je tepelný výkon otopného tělesa ve [W],

c_v viz rovnice 5.4,

ρ_v objem vzduchu v místnosti v [kg/m³]

r intenzita cirkulace vzduchu v [1/s],

O objem místnosti v [m³],

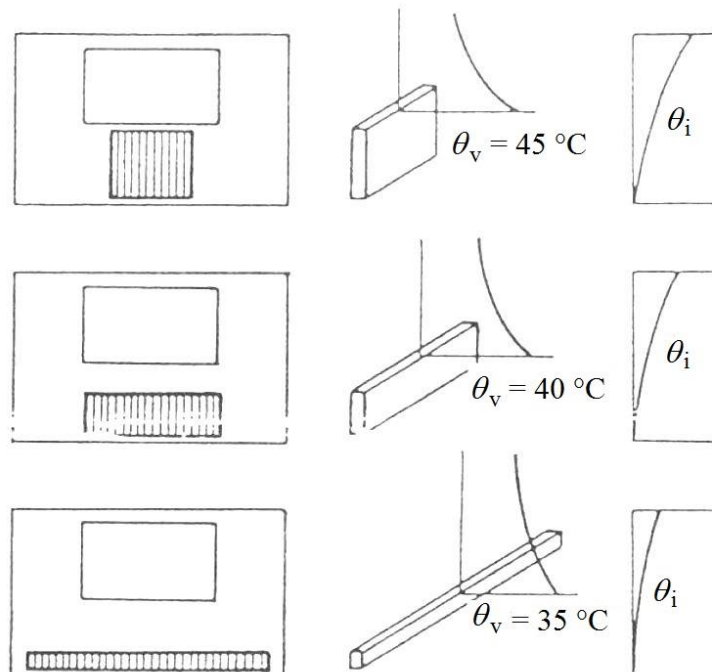
θ_v teplota vzduchu vystupujícího nad tělesem v [°C],

θ_i viz rovnice 5.4.

Při vyjádření množství cirkulačního vzduchu z rovnice 5.6 je patrná nepřímá úměra na zvýšení teploty vzduchu nad tělesem

$$(r \cdot O) = \frac{Q}{c_v \cdot \rho_v \cdot (\theta_v - \theta_i)} \quad (5.7)$$

Navýšení teploty $\Delta\theta_v = \theta_v - \theta_i$ je tolikrát větší, kolikrát je vyšší těleso, kolikrát je jeho povrchová teplota vyšší a kolikrát je podíl konvekce větší. Účinek výšky tělesa na $\Delta\theta_v$ a tím i na nerovnoměrnost teploty θ_i a na vytápěcí účinek je vyobrazen na obrázku 6.



Obrázek 6 – Vertikální průběh teploty vzduchu v místnosti s otopným tělesem pod oknem, teploty podle rovnice 5.6 [3, s. 186]

5.2.2 Uspořádání otopné soustavy

Vhodným prostorovým uspořádáním potrubní sítě otopné soustavy je výchozím předpokladem správné funkce a splynutím se stavbou. Z provozního hlediska by měly soustavy umožňovat úplné odvodnění a také musí být dokonale odvzdušnitelné v celé síti. Tohoto lze docílit vhodným spádováním sítě a umístěním odvzdušňovacích ventilů na nejvyšší místa soustavy. Potrubní síť lze rozdělit do několika hlavních částí: hlavní ležaté rozvody, stoupačky, podlažní ležaté rozvody, připojovací potrubí, pojistné potrubí a armatury. [16, s. 7]

Při návrhu uspořádání rozvodu hledáme řešení, které nejlépe splňuje požadavky kritérií [16, s. 7]:

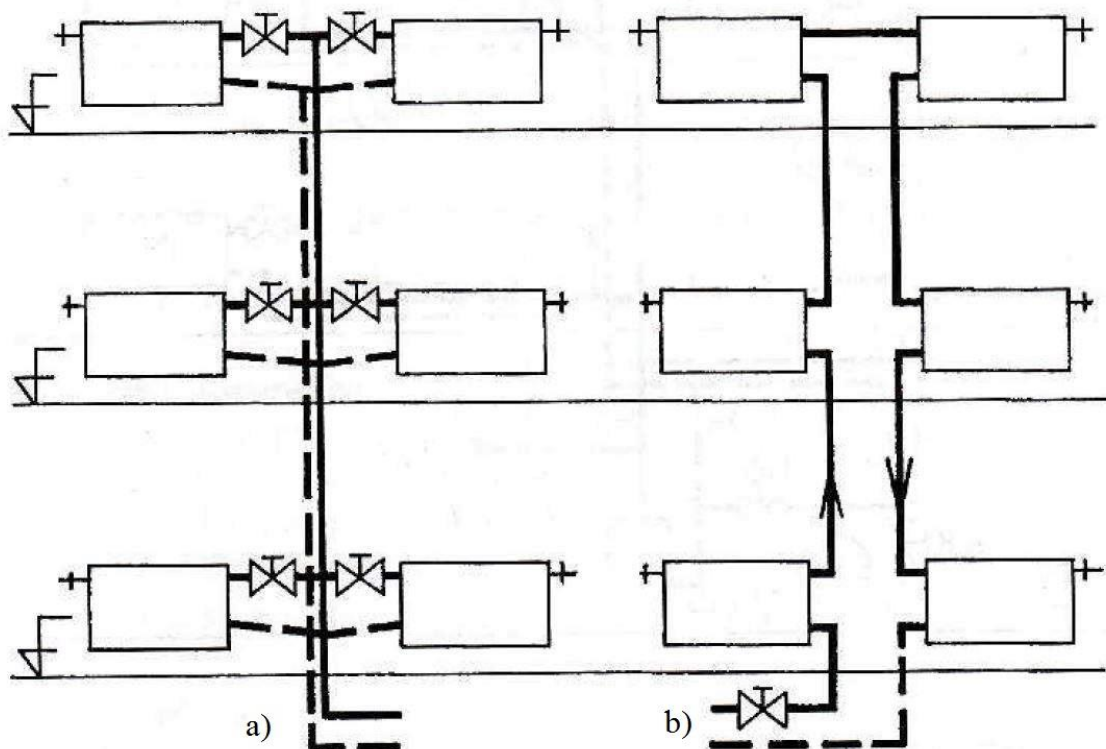
- délka rozvodů,
- umístění otopných ploch ve vytápěném prostoru,
- způsob regulace,
- hydraulická stabilita,
- míra zásahu do stavební konstrukce,
- investiční náklady,
- možnosti opravy.

Rozhodovat můžeme mezi [16, s. 7]:

- vzájemné propojení otopných těles, dvoutrubkové, jednostrubkové,
- vedení rozvodu, pro přípojky otopných těles, vertikální, horizontální, hvězdicové soustavy,
- umístění hlavního ležatého rozvodu, spodní, horní, kombinovaný.

5.2.3 Vzájemné propojování těles

Základní rozdělení propojení otopných těles je na dvoutrubkové a jednostrubkové otopné soustavy. Schematicky znázorněná na obrázku 7. [16, s. 8]



Obrázek 7 – Dvoutrubková a jednotrubková otopná soustava [16, s. 8]

5.2.3.1 Dvoutrubkové otopné soustavy

Otopná tělesa jsou v dvoutrubkové soustavě navzájem propojena paralelně, což znamená, že lze rozlišovat potrubí přívodní a vratné. Každé otopné těleso pracuje se stejným teplotním spádem otopné vody. U dvoutrubkové soustavy lze rozlišovat dvě varianty zapojení [16, s. 8]:

- Protiproudé – pro toto zapojení je charakteristické vedení vratného potrubí ve stejné trase jako vedení přívodní s opačným vedením otopné vody. Nevýhodou tohoto zapojení je měnící se délka jednotlivých okruhů v závislosti na zapojení otopných těles. Nejvzdálenější otopná tělesa jsou tak znevýhodněna z hlediska tlakových ztrát třením v potrubí. Je také problematické správně hydraulicky zregulovat otopná tělesa nejbližší zdroji tepla. [16, s. 8]
- Souproudé – také známe jako Tichelmannovo zapojení. Vratné potrubí je vedeno souběžně s přívodním tak, aby směr proudění tekutiny byl stejný. Ve výsledku to má za následek to, že každé otopné těleso má konstantní součet délky přívodního a vratného potrubí. Díky tomuto mají otopná tělesa v soustavě stejné tlakové poměry a tím zajišťují celé soustavě stabilitu. Tohoto zapojení se využívá

především tam kde je možné zapojení provést v „kruhu“ tak, aby nevznikaly místa, kde by vedly tři trubky vedle sebe. [16, s. 8]

5.2.3.2 Jednotrubkové otopné soustavy

Otopná tělesa jsou v této soustavě zapojena sériově. To znamená, že otopná voda protéká postupně všemi otopnými tělesy, zapojenými v okruhu. V úsecích mezi jednotlivými otopnými tělesy protéká směs přiváděné a vratné vody. Teplota otopné vody postupně klesá a je tedy potřebné, aby velikost otopných těles byla přepočtena podle skutečné teploty otopné vody, v daném úseku otopného tělesa. Jednotrubkové otopné soustavy mohou být vertikální, nebo horizontální. [16, s. 9]

5.2.4 Hydraulický výpočet potrubních sítí otopných soustav

Potrubní síť otopných soustav slouží k dopravě teplosměnné látky k otopnému tělesu a zpět od otopného tělesa ke zdroji. Vzhledem k tomu, že teplosměnné látka bývá ve většině případů voda a výjimečně pára, lze zjednodušit složité výpočty potrubí a nahradit je pro ruční výpočet nomografy a tabulkami. [16, s. 42]

5.2.4.1 Tlaková ztráta třením

V potrubí o délce l v [m] dochází, vlivem proudění kapalin, nebo plynů, k tlakovému úbytku podle vztahu [16, s. 42]:

$$\frac{dp}{dl} = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (5.8)$$

kde λ je součinitel tření [–],

w střední rychlost v průřezu úseku v [m/s],

d vnitřní průměr potrubí v [m],

ρ hustota vody v [kg/m³], pracuje se s hustotou při střední teplotě soustavy.

Pro nestlačitelné kapaliny platí [16, s. 42]:

$$\frac{p_2 - p_1}{l} = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = R \quad (5.9)$$

kde R je tlaková ztráta jednoho metru přímého vedení, označuje se jako tlakový spád v [Pa/m],

l délka počítaného úseku potrubí v [m].

Pro určení součinitele tření se použije nejčastěji tomu určených grafů, je také možné z již vypracovaných výpočetních tabulek určit rovnou tlakový spád potrubí v závislosti na průměru potrubí a rychlosti proudící kapaliny. [16, s. 42]

Tlaková ztráta třením se pak určí upravením rovnice 5.9 [16, s. 43]:

$$\Delta p_{zt} = p_2 - p_1 = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = R \cdot l \quad (5.10)$$

kde Δp_{zt} je tlaková ztráta třením [Pa],

p_2 tlak na začátku úseku potrubí [Pa],

p_1 tlak na konci úseku potrubí [Pa].

5.2.4.2 Tlakové ztráty vřazenými odpory

V potrubí vznikají mimo tlakových ztrát třením také tlakové ztráty vřazenými odpory, které jsou dány vztahem [16, s. 45]:

$$\Delta p_{zm} = \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = Z \quad (5.11)$$

kde $\Delta p_{zm}, Z$ je tlaková ztráta vřazenými odpory [Pa],

ξ příslušný součinitel vřazeného odporu [–],

n počet místních odporů v úseku [–],

w viz rovnice (5.8),

ρ viz rovnice (5.8).

Tlaková ztráta vřazenými odpory se obvykle označuje Z a je tabulkově zpracována v závislosti na ξ a na w . [16, s. 45]

5.2.4.3 Celková tlaková ztráta

Celková tlaková ztráta je součtem tlakových ztrát třením a místními odpory.

$$\Delta p_{zu} = \Delta p_{zt} + \Delta p_{zm} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = R \cdot l + Z \quad (5.12)$$

Při výpočtu vnějších sítí je vhodné najít ekvivalentní délku k vřazeným odporům l_{ekv} [16, s. 45]:

$$l_{ekv} = \sum \xi \cdot \frac{d}{\lambda} \quad (5.13)$$

potom,

$$\Delta p_{zu} = R \cdot (l + l_{ekv}) = R \cdot L \quad (5.14)$$

5.3 Ohřev teplé vody

Zařízení pro ohřev vody musí být navrženo tak, aby teplota teplé vody v místě odběru byla v rozsahu 50 až 55 °C. jiná teplota teplé vody je možno volit pouze v odůvodněných případech zejména pak u technologických odběrů. [17, s. 9]

Ohřev vody se může dělit [17, s. 9 – 10]:

- Podle způsobů předání tepla na:
 - ohřívání přímé,
 - ohřívání nepřímé,
- podle místa ohřevu na:
 - ohřívání místní,
 - ohřívání ústřední,
- podle konstrukce zařízení na:
 - ohřívání zásobníkové,
 - ohřívání průtočné,
 - ohřívání smíšené,

ohřev vody lze rozdělit i podle dalších zde neuvedených kritérií.

5.3.1 Návrh ohřevu teplé vody

Výpočty se provádějí pro předpokládané teploty studené vody $\theta_1 = 10^\circ\text{C}$ a teplota teplé vody před výtokovou armaturou $\theta_3 = 55^\circ\text{C}$. Výpočty jsou uvažovány pro místo spotřeby, proto je nutné navýšit teplo potřebné pro ohřev vody koeficientem $(1 + z)$, který zohledňuje technologicky nutné ztráty. Korekce se nepoužívá u místního ohřevu teplé vody. Rozvody teplé vody i cirkulace je nutné izolovat a tím co možná nejvíce snížit tepelné ztráty. [17, s. 12]

5.3.1.1 Stanovení potřeby teplé vody

Stanovuje se pro mytí osob, nádobí a úklid.

- Potřeba teplé vody pro mytí osob V_o [17, s. 12]:

$$V_o = n_i \cdot \sum V_d \quad (5.15)$$

$$\sum V_d = \sum (n_d \cdot U_3 \cdot t_d \cdot p_d) \quad (5.16)$$

- Potřeba teplé vody na mytí nádobí V_j [17, s. 12]:

$$V_j = n_j \cdot V_d \quad (5.17)$$

- Potřeba teplé vody na úklid V_u [17, s. 12]:

$$V_u = n_u \cdot V_d \quad (5.18)$$

- Celková potřeba teplé vody V_{2p} [17, s. 12]:

$$V_{2p} = V_o + V_j + V_u \quad (5.19)$$

| | | | |
|-----|----------|----|---|
| kde | V_o | je | potřeba teplé vody pro mytí osob v [m ³], |
| | V_d | | objem dávky v [m ³], |
| | V_j | | potřeba teplé vody pro mytí nádobí v [m ³], |
| | V_u | | potřeba teplé vody pro mytí podlah v [m ³], |
| | V_{2p} | | celková potřeba tepla v [m ³], |
| | n_i | | počet uživatelů [–], |
| | n_j | | počet jídel [–], |
| | n_d | | počet dávek [–], |
| | n_u | | počet normativních ploch [–], |
| | U_3 | | objemový průtok teplé vody o teplotě θ_3 do výtoku v [m ³ /h] |
| | t_d | | doba dávky v [h], |
| | p_d | | součinitel prodloužení doby dávky [–]. |

5.3.1.2 Stanovení spotřeby tepla

- Potřeba odebraného tepla z ohřivače teplou vodou Q_{2p} [17, s. 13]:

$$Q_{2p} = Q_{2t} + Q_{2z} \quad (5.20)$$

- Teoretické teplo odebrané z ohřivače Q_{2t} [17, s. 13]:

$$Q_{2t} = c \cdot V_{2p} \cdot (\theta_2 - \theta_1) \quad (5.21)$$

- Teplo ztracené při ohřevu a distribuci teplé vody Q_{2z} [17, s. 13]:

$$Q_{2z} = Q_{2t} \cdot z \quad (5.22)$$

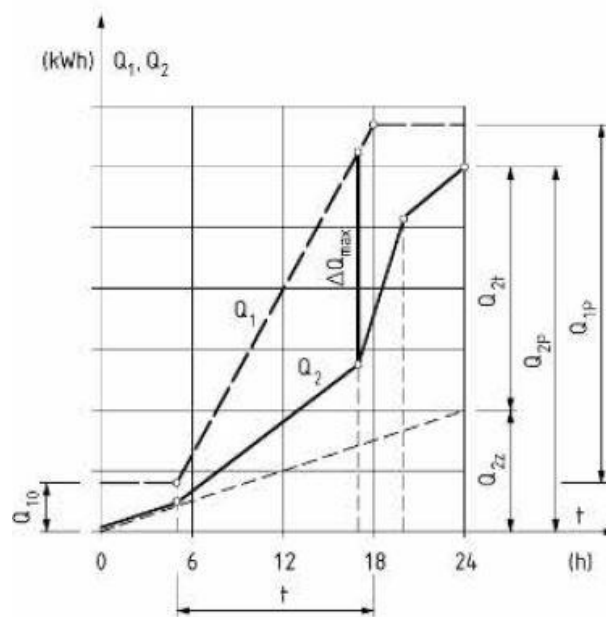
- Teplo dodané ohřivačem teplé vodě [17, s. 13]:

$$Q_{1p} = Q_{2p} \quad (5.23)$$

| | | | |
|-----|------------|----|--|
| kde | Q_{2p} | je | teplo dodané ohřivačem teplé vodě v [kWh], |
| | Q_{2t} | | teoretické teplo odebrané z ohřivače v [kWh], |
| | Q_{1p} | | teplo dodané ohřivačem teplé vodě v [kWh], |
| | Q_{2z} | | teplo ztracené při ohřevu a distribuci teplé vody v [kWh], |
| | V_{2p} | | celková spotřeba teplé vody [m ³], |
| | θ_1 | | teplota studené vody v [°C], |
| | θ_2 | | teplota teplé vody v [°C], |
| | z | | součinitel poměrné ztráty [-]. |

5.3.1.3 Stanovení křivky odběru a dodávky tepla

Křivka odběru je závislá na odběru tepla Q_2 z ohřivače na čase t během periody. Pokud je to možné určí se měřením na podobném zařízení, pokud měření možné není, určí se časovým rozbohem. Křivka dodávky tepla je závislost dodávky tepla Q_1 do ohřivače na čase t během periody. Svislý posun křivky Q_1 nad Q_2 na začátku periody značí, že v zásobníku je již teplo Q_{10} z předcházející periody. Křivky Q_1 , Q_2 , a teplo Q_{10} jsou znázorněny na obrázku 8. [17, s. 13]



Obrázek 8 – Příklad dodávky a odběru tepla při ohřevu se zásobníkem

5.3.1.4 Stanovení objemu zásobníku

Objem zásobníku se stanoví pomocí maximálního rozdílu mezi křivkami Q_1 a Q_2 na obrázku 8. Tento rozdíl prezentuje nutnou zásobu tepla.

$$V_z = \frac{\Delta Q_{max}}{c \cdot (\theta_2 - \theta_1)} \quad (5.24)$$

- kde V_z objem zásobníku v $[m^3]$,
 ΔQ_{max} největší možný rozdíl tepla mezi Q_1 a Q_2 v $[kWh]$,
 c měrná tepelná kapacita vody v $[kWh/(m^3 \cdot K)]$,
 θ_2 viz kapitola 5.3.1.2,
 θ_1 viz kapitola 5.3.1.2.

5.3.1.5 Stanovení tepelného výkonu pro ohřev vody

Jmenovitý tepelný výkon pro ohřev se stanoví [17, s. 14]:

$$\Phi_{1n} = \frac{Q_{1p}}{t} \quad (5.25)$$

- kde Φ_{1n} je jmenovitý tepelný výkon ohřevu v $[kW]$,
 Q_{1p} teplo dodané ohřivačem teplé vodě v čase t od počátku periody $[kWh]$,
 t čas $[h]$.

5.4 Výměňíková stanice

Výměňíkové stanice se využívají při centrálním zásobování teplem, nejrozšířenějším typem zásobování jsou vodní soustavy. Připojení odběratelů a následně i jednotlivých spotřebičů se provádí přímo, tlakově závisle, nebo nepřímo, pomocí výměňíků. [18]

Zdroje tepla pro centrální zásobování teplem mohou být [18]:

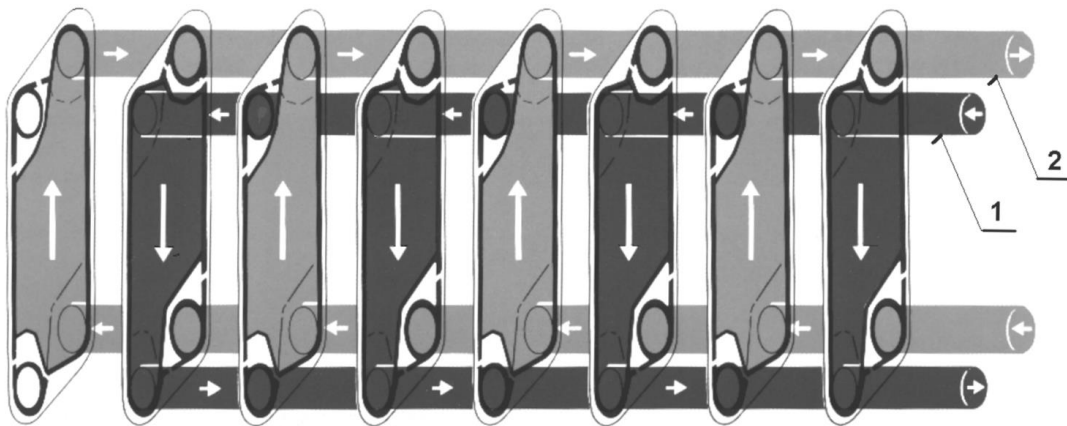
- okreskové výtopny 110/70 °C
- průmyslové výtopny 130/70 °C
- teplárny 120/70 °C, 130/70 °C, 150/70 °C

Důležitým požadavkem na bezporuchový provoz kotlů v okreskových a průmyslových výtopnách je teplota média ve vratném potrubí $\theta_{m2} \geq 70$ °C. U teplárenských soustav je požadováno větší ochlazení $\theta_{m2} \leq 70$ °C. [18]

5.4.1 Druhy výměňíků pro vytápění

- Trubkové výměňíky – skládají se z pláště, obvykle válcová nádoba, a trubkového svazku. Princip funkce je takový, že jedna teplosměnná látka protéká svazkem trubek a druhá teplosměnná látka protéká mezikružím, obvykle v opačném směru než první teplosměnná látka, protiproudý výměňík. Materiálem trubek výměňíků bývá obvykle pro topenářské účely měď, mosaz, nebo nerezová ocel. Výměňíky bývají konstruovány jako vertikální nebo horizontální. Dají se dělit také na rozebíratelné a nerozebíratelné. [19, s. 934]
- Výměňíky s vlásenkovými trubkami – jsou tvořeny trubkami ve tvaru písmene U, zvané vlásenky, ty jsou zaválcovány do jedné trubkovnice. Hlava výměňíku je opatřena přírubou, která připevňuje výměňík k plášti a zároveň slouží pro vstup a výstup teplosměnné látky. Druhá teplosměnná látka protéká otvory v plášti do mezitrubkového prostoru. [19, s. 935]
- Výměňíky se šroubovitě vinutými trubkami – tyto výměňíky mají trubky vinuté do šroubovice, bývají obvykle menšího průřezu a trubky bývají i rýhované, všechny tyto možnosti úprav mají pozitivní vliv na výměnu tepla. [19, s. 935]
- Deskové výměňíky
 - Rozebíratelné deskové výměňíky – jsou složeny z řady desek, umístěných v řadě za sebou a stažených pomocí šroubů. Každá deska je opatřena těsněním, čímž je vytvořen systém dvou mezideskových kanálů pro průtok

obou teplosměnných látek. Životnost těchto výměníků je ovlivněna životností těsnění. [19, 935]



Obrázek 9 – princip činnosti deskového výměníku,
1 – ohřívací látka; 2 – ohřívaná látka [19, s. 954]

- Nerozebíratelné deskové výměníky – tyto výměníky jsou pájené, nebo svařované. Nejčastěji se používají pájené. Jsou vyrobeny z nerezového plechu. Těsnění, přítlačné desky, stahovací šrouby i rám je nahrazen pájeným spojem. Z jejich konstrukce vyplývá vysoká tuhost a možnost použití pro vysoké tlaky, nízká hmotnost a tím i cena. [19, s. 936]
- Výhody deskových výměníků - především vysoký součinitel prostupu tepla U a tím menší nároky na rozměry s tím spojená i hmotnost výměníku. Deskové výměníky mají i další zde neuvedené výhody. [19, s. 937]

5.4.2 Princip výpočtu výměníku

V topenářství se používají téměř výhradně protiproudé výměníky tepla. Principem protiproudého výměníku je, že jedna teplosměnná látka proudí v jednom směru a odevzdává teplo přes stěnu výměníku druhé teplosměnné látce, která proudí opačným směrem. Princip činnosti je znázorněn na obrázku 10. [19, s. 937]

- Tepelný výkon předaný zahřívací látkou Q v [kW] [19, s. 937]:

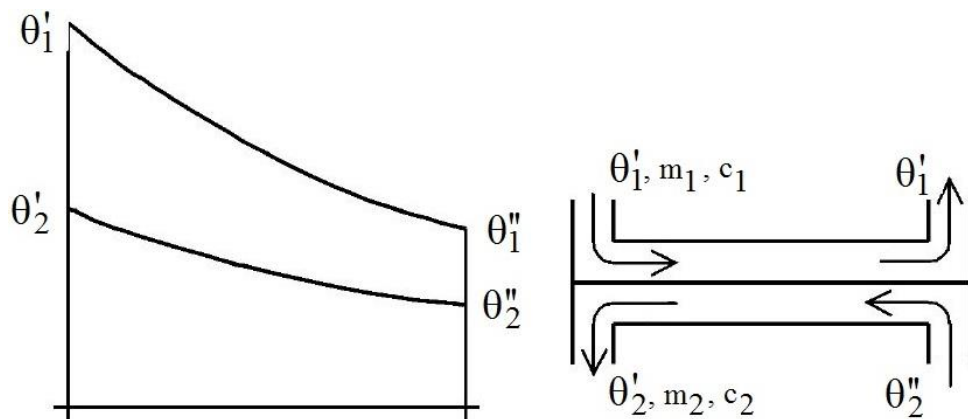
$$Q = \dot{m}_1 \cdot c_{p1} \cdot (\theta'_1 - \theta''_1) \quad (5.26)$$

- kde \dot{m}_1 je hmotnostní průtok zahřívající látky v [kg/s],
 c_{p1} měrná tepelná kapacita zahřívající látky v [kJ/(kg · K)],
 θ'_1 teplota zahřívající látky na vstupu v [°C],
 θ''_1 teplota zahřívající látky na výstupu v [°C].

- Výkon předaný do ohřívací látky Q v [kW], při zanedbání ztrát tepla do okolí [19, s. 937]

$$Q = \dot{m}_2 \cdot c_{p2} \cdot (\theta'_2 - \theta''_2) \quad (5.27)$$

- kde \dot{m}_2 je hmotnostní průtok zahřívané látky v [kg/s],
 c_{p2} měrná tepelná kapacita zahřívané látky v [kJ]/(kg · K),
 θ'_2 teplota zahřívající látky na výstupu v [°C],
 θ''_2 teplota zahřívající látky na vstupu v [°C].



Obrázek 10 – Princip činnosti protiproudého výměníku s průběhem teplot [19, s. 938]

- Pro přestup tepla z jedné teplosměnné látky do druhé platí vzorec pro sdílení tepla [19, s. 938]:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta\theta_{ls} \quad (5.28)$$

- kde U je součinitel prostupu tepla v [kW]/(m² · K),
 A teplosměnná plocha výměníku v [m²],
 $\Delta\theta_{ls}$ střední logaritmický rozdíl teplot v [K].

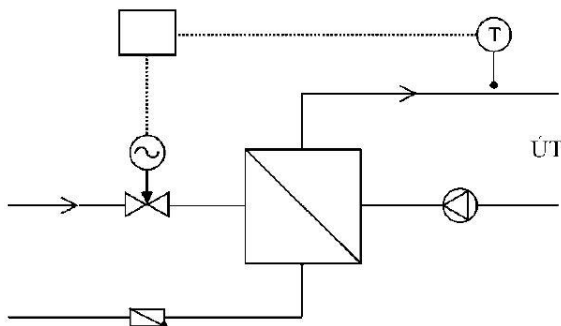
$$\Delta\theta_{ls} = \frac{(\theta'_1 - \theta'_2) - (\theta''_1 - \theta''_2)}{\ln \frac{(\theta'_1 - \theta'_2)}{(\theta''_1 - \theta''_2)}} \quad (5.29)$$

5.4.3 Řízení výkonu výměníku

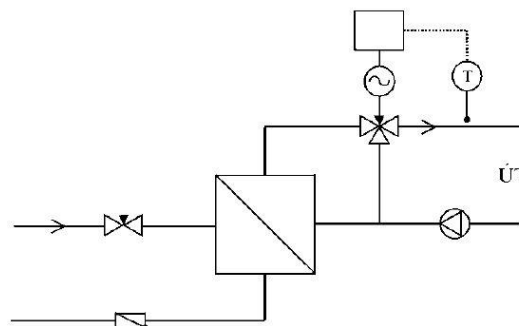
Výkon výměníku lze regulovat jak na primární straně, tak na straně spotřebitelské soustavy. Nejčastějším způsobem regulace výkonu je škrcení na primární straně. Znázorněného na obrázku 11. Při této regulaci dochází k regulaci průtoku vody na primární straně. Tento způsob regulace je vhodný především pro velké soustavy centrálního

zásobování teplem, zejména pak pro teplárenské soustavy, kdy je žádoucí maximální vychlazení primární vody. [19, s. 940]

Další možnost řízení výkonu výměníku je regulace obtokem. Je možné jej realizovat jak na primární tak i sekundární straně výměníku. Na obrázku 12 je znázorněn princip této regulace na sekundární straně. Regulace se provádí pomocí směšovacích ventilů, které určují poměr průtoku přes výměník a zkratem. [19, s. 940]



Obrázek 11 – Regulace výkonu výměníku škrcením na primární straně

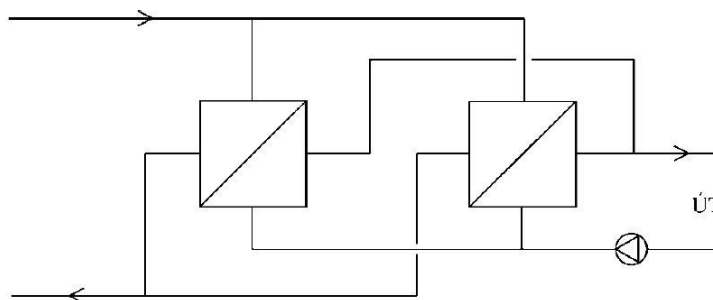


Obrázek 12 – Regulace výkonu výměníku směšováním na sekundární straně

Oba způsoby regulace popsané výše se užívají v systémech voda – voda.

5.4.4 Řazení výměníků

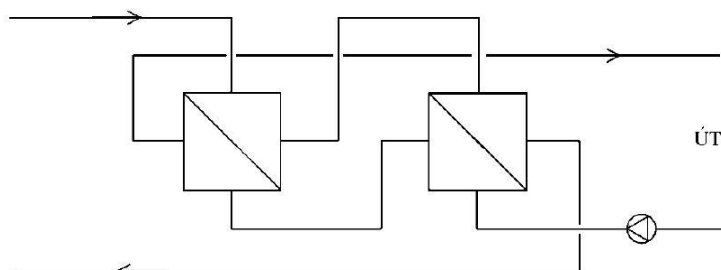
- Paralelní řazení výměníků – při tomto řazení zůstávají stejné průtokové poměry při stejných teplotních poměrech, jako u použití jednoho výměníku. Jsou stejné i rychlosti proudění i hodnoty součinitelů přestupu i prostupu tepla. Výměníky řazené vedle sebe dávají dvojnásobný výkon. Paralelně lze řadit i více výměníků. Zjednodušené schéma paralelního řazení výměníků je na obrázku 13. [19, s. 941]



Obrázek 13 – Paralelní řazení výměníků [19, s. 941]

- Sériové řazení výměníků – při sériovém řazení dvou výměníků lze dosáhnout při stejných teplotách na primární i sekundární straně, jako u jednoho výměníku, až osminásobného výkonu. Tím dochází i k osminásobnému zvýšení průtoku

a tím i k navýšení tlakové ztráty, ta je závislá na kvadrátu průtoku, to znamená, že v případě dvou sériově řazených výměníků by byla tlaková ztráta až 64 krát větší než u jednoho výměníku. Na obrázku 14 je zjednodušené schéma sériového řazení výměníků. [19, s. 941 – 942]



Obrázek 14 – Sériové řazení výměníků [19, s. 941]

5.4.5 Přípojný výkon

Maximální požadovaný výkon instalovaného zařízení není prostým součtem všech potřebných výkonů spotřebičů tepla. Uplatňuje se akumulace rozvodných sítí i zařízení, počítá se také s kolísáním potřeby tepla během dne. [20, s. 19]

Mohou se vyskytnout například tyto příklady [20, s. 19]:

- Vytápění objektu s přerušovaným větráním a přípravou teplé vody

$$\Phi_{prip} = 0,7 \cdot (\Phi_{top} + \Phi_{vet}) + \Phi_{tv} \quad (5.30)$$

- Vytápění objektu s trvalým větráním nebo nepřetržitým technologickým odběrem

$$\Phi_{prip} = \Phi_{top} + \Phi_{vt} \quad (5.31)$$

- Vytápění a příprava teplé vody průtočným způsobem – přípojný tepelný výkon je roven vyšší hodnotě z potřeb tepla pro vytápění nebo přípravu teplé vody.

5.5 Pojistná zařízení

Tepelné soustavy nesmí být provozovány bez zabezpečovacího zařízení. Návrh zabezpečovacích zařízení musí být obsažen v projektu tepelných soustav budov. Každá otopná soustava, nebo její úsek musí mít stanoven nejvyšší pracovní přetlak, minimální přetlak a nejvyšší pracovní teplotu. [21, s. 9]

Zabezpečovací zařízení se skládá z několika ochran [21, s. 9]:

- překročení nejvyššího pracovního přetlaku, nebo podtlaku,
- překročení nejvyšší pracovní teploty,

- nedostatku vody v soustavě.

5.5.1 Pojistný ventil

Musí bezpečně a spolehlivě odvést pojistný výkon ze zdroje tepla. [21, s. 11]

Pro zařízení mimo výměníky tepla, jejichž výstupem je směs páry a vody a tepelné zdroje, s teplosměnnou látkou na vstupu i výstupu v podobě páry, je pojistný výkon [21, s. 11]

$$\Phi_p = \Phi_n \quad (5.32)$$

Pro zařízení pro která neplatí vztah 5.28, platí [21, s. 12]

$$\Phi_p = 2 \cdot \Phi_n \quad (5.33)$$

kde Φ_n je výkon zdroje v [kW],

Φ_p pojistný výkon v [kW].

Výpočet průřezu sedla pojistného ventilu A_o v [mm²] se stanoví [21, s. 12]:

- pro vodu

$$A_o = \frac{2 \cdot \Phi_p}{\alpha_v \cdot p_{ot}^{0,5}} \quad (5.34)$$

- pro páru

$$A_o = \frac{\Phi_p}{\alpha_v \cdot K} \quad (5.35)$$

kde α_v je výtokový součinitel pojistného ventilu [–],

p_{ot} otevírací přetlak pojistného ventilu v [kPa],

K Konstanta, závislá na stavu syté vodní páry při p_{ot} v [kW/mm²]

Výpočet vnitřního průměru pojistného potrubí d_v, d_p v [mm] [21, s. 12]:

- v případech, kdy nedochází k vývinu páry

$$d_v = 10 + 0,6 \cdot \Phi_p^{0,5} \quad (5.36)$$

- v případech, kdy dochází k vývinu páry

$$d_p = 15 + 1,4 \cdot \Phi_p^{0,5} \quad (5.37)$$

5.5.2 Expanzní zařízení

Uvažuje se maximální hydrostatický přetlak do 150 kPa a největší dovolený přetlak 250 kPa [22, s. 145]

- zvětšení objemu teplotnosné látky v otopné soustavě zahřátím je [22, s. 145]:

$$\Delta V = \Delta v \cdot V \quad (5.38)$$

kde ΔV je užitečný obsah expanzní nádoby v [l],

Δv měrné zvětření objemu teplotnosné látky na teplotě v [l/kg],

V Množství teplotnosné látky v [l], [kg].

- součinitel využití η [–] expanzní nádoby [22, s. 145]:

$$\eta = \frac{\Delta V}{V_c} \quad (5.39)$$

nebo

$$\eta = \frac{p_{a2} - p_{a1}}{p_{a2}} \quad (5.40)$$

- velikost expanzní nádoby s membránou V_c [l]:

$$V_c = 1,30 \cdot \frac{\Delta V}{\eta} \quad (5.41)$$

kde 1,30 je koeficient bezpečnosti pro stanovení velikosti expanzní nádoby.

6 FOTOVOLTAICKÉ KOLEKTORY

Jedná se o přímou přeměnu sluneční energie na energii elektrickou.

6.1 Princip činnosti

Působením slunečního záření a hmoty dochází k pohlcování fotonů a uvolňování elektronů, v polovodiči pak vzniká elektrický náboj, který je jako elektrická energie odváděn z článku přes regulátor dobíjení do akumulátoru, ke spotřebiči nebo dodáván do distribuční sítě.

[11]

Charakteristickou hodnotou množství sluneční energie dopadající na Zemi je sluneční konstanta. Tato konstanta má nad hranicí zemské atmosféry hodnotu 1337 W/m^2 . Část tohoto záření se odrazí nebo pohltí v ozónosféře, zbytek, v ČR asi 1040 W/m^2 pak dopadá na povrch Země. [11]

6.2 Účinnost

Účinností fotovoltaického článku se rozumí podíl slunečního záření, které je přeměněno na elektrický výkon. Na účinnost fotovoltaiky má vliv zvolený materiál ale i kvalita. U běžně vyráběných křemíkových článků je účinnost kolem 20 %. V laboratorních podmínkách lze dosáhnout účinnosti vyšší. [12, s. 93]

$$\eta = \frac{P_{el}}{\Phi} \quad (6.1)$$

kde η je účinnost [–]

P_{el} výstupní elektrický výkon [W]

Φ výstupní energie slunečního záření [W]

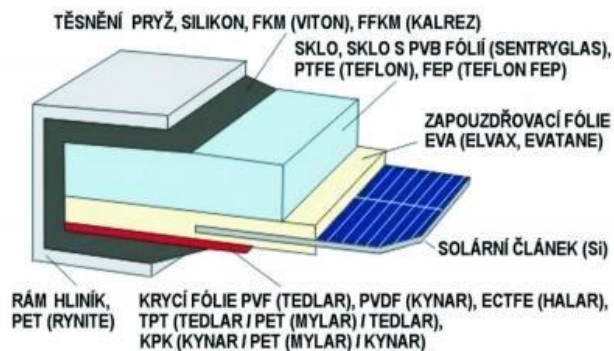
6.3 Konstrukce fotovoltaického panelu

Fotovoltaický panel je komplexní název zařízení složeného z několika částí, tak aby byla zachována jeho funkčnost při žádané odolnosti.

Prvkem, který se stará o přeměnu solární energie na elektrickou jsou fotovoltaické články, ty se pro dosažení potřebného výkonu spojují sérioparalelně. Existují tři typy článků: monokrystalický, účinnost v rozmezí 12 % až 16 %, polykrystalický, účinnost v rozmezí 12 % až 14 % a tenkovrstvý s účinností cca 8 %. [11]

Životnost fotovoltaických panelů se v průměru udává 30 let. V průběhu životnosti ztrácí svou účinnost. [11]

Odolnost vůči povětrnostním vlivům nám zajišťují komponenty, kterými je fotovoltaický článek chráněn. Konstrukce solárního panelu s popisem jednotlivých částí je na obrázku 15 [11]

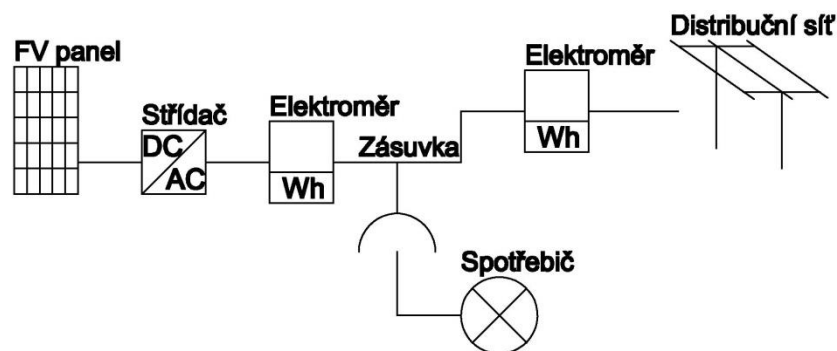


Obrázek 15 – Konstrukce fotovoltaického panelu [11]

6.4 Zapojení fotovoltaiky

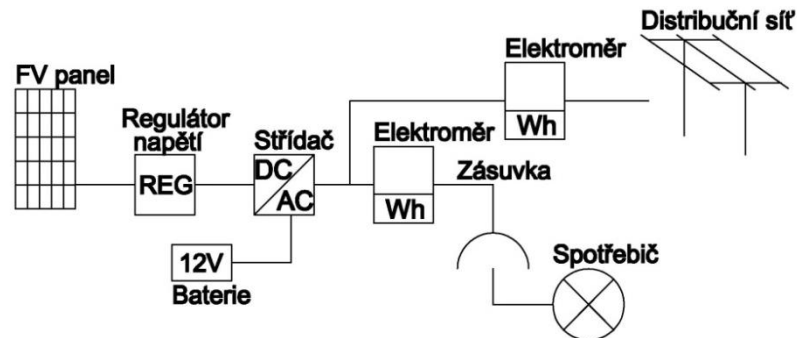
Fotovoltaické systémy je možné vzhledem k zdroji elektrické energie a spotřebiči zapojit v několika variantách, například ostrovní systém, kdy elektrická energie která je vyprodukována fotovoltaickým systémem je spotřebována přímo v místě výroby, nebo fotovoltaický systém lze připojit na veřejnou síť elektrické energie a vyrobenou elektřinu prodávat, možné je také tyto dva systémy zkombinovat a tím snížit odběr elektrické energie od distributora.

- Spotřebitelský systém – Tento systém se používá tam, kde vyrobená energie slouží ke spotřebě v místě výroby, případné přebytky jsou dodány do distribuční sítě a nedostatky elektrické energie jsou pokryty z distribuční sítě. [14]



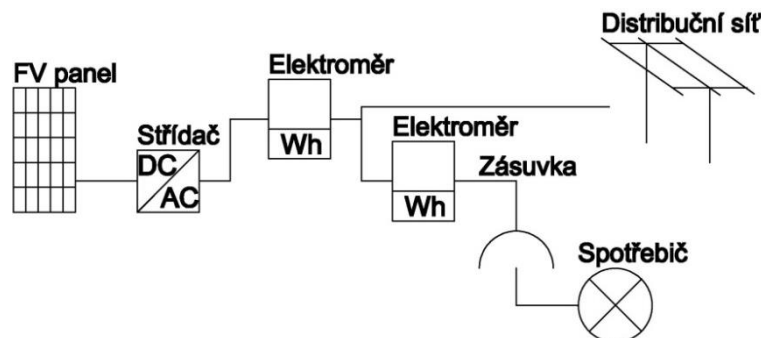
Obrázek 16 – Schéma spotřebitelského systému [14]

- Hybridní systém – Systém je zkonstruován tak, aby bylo možné veškerou energii z fotovoltaických panelů spotřebovat v místě spotřeby. Prioritní je nabití akumulátoru, po jeho nabití dochází k přeměření elektrické energie k prioritním spotřebičům. Investor může přebytečnou energii i prodávat do distribuční sítě. [14]



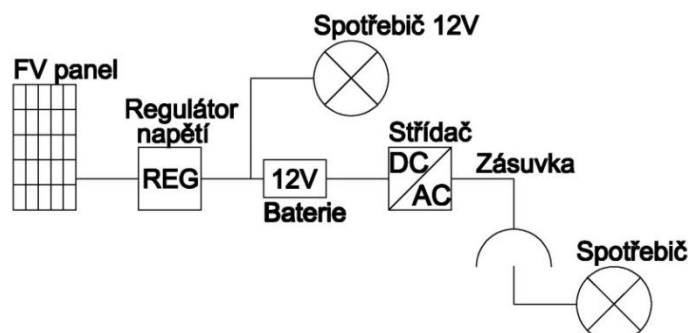
Obrázek 17 – schéma hybridního systému [14]

- Distribuční systém – Jedná se obvykle o fotovoltaické elektrárny o větším výkonu. Vyprodukovaná energie se dodává do distribuční sítě. [14]



Obrázek 18 – Schéma distribučního systému [14]

- Ostrovní systém – Jedná se o zcela izolovanou soustavu. Tento zdroj elektrické energie se využívá především v lokalitách, ve kterých by připojení na distribuční síť bylo velice obtížné, nebo nemožné. Nevýhodou těchto systémů jsou baterie, které mají omezený počet nabíjecích cyklů a její životnost je pouze několik let. [14]



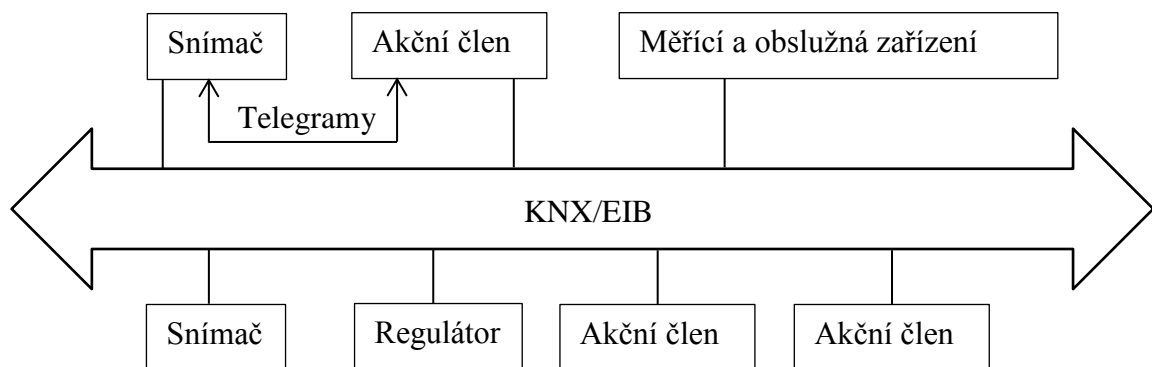
Obrázek 19 – Schéma ostrovního systému

7 AUTOMATIZACE BUDOVY

S narůstajícím podílem automatizace v účelových stavbách tak i v bytové výstavbě se automatizace budov vyvinula jako samostatný aplikační obor automatizační techniky. Prvky automatizační techniky, například snímače, akční členy, regulátory vizualizace procesů obvykle pracují decentralizovaně. Pro provádění složitějších úkonů jsou tyto přístroje vybaveny komunikačním systémem určeným k výměně dat. [15, s. 9]

7.1 Evropská instalační sběrnice KNX/EIB

Jedná se o průmyslový komunikační systém, využívající se pro síťové infromatické spojení zařízení, snímačů, akčních členů, regulačních a řídicích zařízení. [15, s. 52]



Obrázek 20 – Infromatické zasíťování zařízení [15, s. 52]

7.1.1 Použití KNX/EIB

Hlavním důvodem širšího uplatnění elektroniky a průmyslové spojovací techniky je více pohodlí, větší bezpečnost a větší hospodárnost. [15, s. 53]

Sběrnice lze použít k realizaci automatizace a řízení mnohostranných funkcí budovy, zejména pro [15, s. 53]:

- zajištění funkcí vstupu a výstupu,
- funkce zpracování dat,
- řídicí funkce,
- obslužné funkce,

moderní budovy disponují mnoha [15, s. 53]:

- snímači, osvětlení, pohybových, atd.,
- akčních členů, spínacích, stmívačích, atd.,
- řídicích a regulačních přístrojů,

- obslužných, měřících a sledovacích zařízení.

7.1.2 Přístroje na sběrnici KNX/EIB

Výrobou produktů KNX/EIB se zabývá několik specializovaných výrobců a každý tento výrobce nabízí množství produktů. Proto je na trhu k dispozici mnoho zařízení, řádově několik tisíc. [15, s. 63]

Produkty KNX/EIB, nabízené výrobcí, lze rozdělit do čtyř hlavních skupin [15, s. 64]:

- systémové přístroje, napájecí zdroj, akumulátory, apod.,
- snímače, tlačítkové snímače, tlačítkové ovladače, apod.,
- akční členy, spínací akční členy, ovladače, apod.,
- ostatní, logické moduly, kontrolní panely apod.

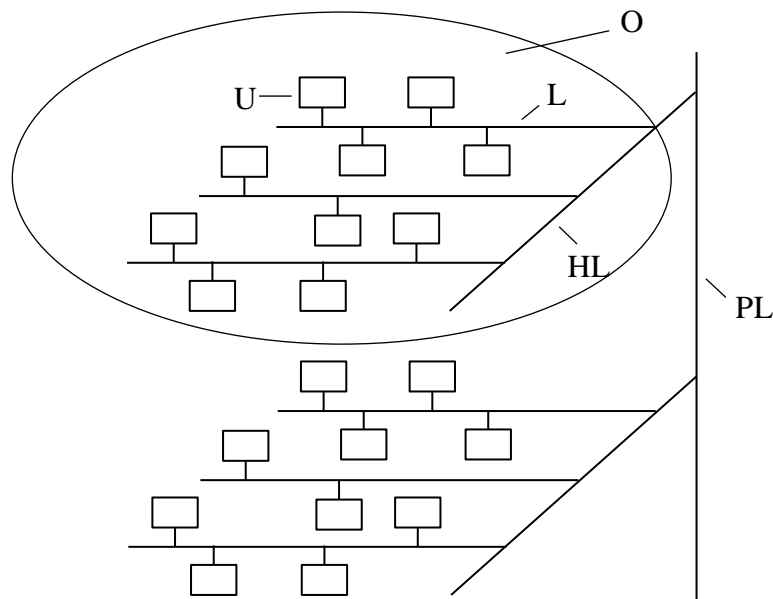
Přístroje lze dostat v různém provedení, tím pádem je možné je umístit podle potřeb zákazníka. Zejména jsou k dispozici zařízení v provedení pro instalaci do krabice pod omítku nebo na omítku, jako vestavěné přístroje, nebo určené pro instalaci do rozvaděčů na nosnou lištu. [15, s. 64]

7.1.3 Topologie

Instalace KNX/EIB musí být připojena na síť dodávající energii. Vedle toho musí být ještě nainstalována komunikační síť instalační sběrnice KNX/EIB. Obě sítě jsou galvanicky odděleny. Pro KNX/EIB je potřeba vyprojektovat a zařídit mimo silové sítě také komunikační síť. [15, s. 66]

Topologie sítě KNX/EIB napodobuje obvykle instalační struktury budovy. Jedná se o tzv. stromovou topologii. [15, s. 67]

Z obrázku 21 je patrná hierarchie KNX/EIB. Jednotlivé účastnické stanice (U) jsou spojeny linií (L), více hlavních linií jsou spojeny prostřednictvím hlavní linie (HL) a společně vytvářejí oblast (O), více oblastí je společně napojeno na páteřní linii (PL). [15, s. 67 – 68]



Obrázek 21 – Stromová topologie KNX/EIB [15, s. 67]

7.1.4 Přenosová média

Pro přenos dat mezi účastnickými stanicemi mohou být využita různá média [15, s. 79]:

- Twisted Pair – kroucený pár – KNX.TP,
- Power Line – silové vedení – KNX.PL,
- rádiový přenos – KNX.RF,
- Ethernet – KNXnet/IP,
- optická vlákna.

Nejčastěji se využívá KNC.TP, používá se zejména u novostaveb, kde položení nového rozvodu, krouceného páru, není žádný problém. Jedná se o nákladově výhodnou variantu KNX/EIB. Ostatních možností se využívá v případech, kde by využití KNX.TP bylo obtížné, nebo nemožné. Například u KNX.RF není potřeba pokládat žádné vedení, protože komunikace se provádí rádiovým spojem. U komunikací na větší vzdálenost je zase výhodné použít přenos pomocí optických kabelů. [15, s. 79]

7.1.5 Průběh komunikace

Komunikace po sběrnici KNX/EIB je prováděna pomocí telegramů, ty jsou odesílány jako řada znaků UART.

7.1.5.1 Datové telegramy a zpětná hlášení

Jak již bylo zmíněno, komunikace probíhá pomocí telegramů. Rozlišují se telegramy datové a potvrzovací telegramy. Impulsem k odeslání datového telegramu jsou jednotlivé události, například stisknutí tlačítka apod. V důsledku této akce přístroj vyšle datový telegram opatřený příslušnou skupinovou adresou. Příjemci, kteří patří do této skupinové adresy, potvrzují příjem tohoto telegramu zpětným hlášením. Aby se předešlo přetížením zpětnými telegramy, tak zpětná hlášení proběhnou souhrnně. [15, s. 81]

- Datový telegram obsahuje binární informace v sedmi binárních polích [15, s. 82]:
 - kontrolní pole, 1 byte,
 - adresa odesílatele, 2 byty,
 - adresa příjemce, 2 byty + 1 bit,
 - přepravní pole, 3 bity,
 - údaj o délce datového pole, 4 bity,
 - datové pole, od 1 do 16 bytů,
 - zkušební pole, 1 byte.
- Zpětné hlášení po uplynutí 13 bitových dob přestávky potvrzující zpětné hlášení. Zpětné hlášení může obsahovat jednu ze tří možností, které jsou uvedeny v tabulce 12 [15, s. 90]

Tabulka 12 – Obsah tří možných případů zpětného hlášení [15, s. 90]

| | MSB | | | | | | | LSB | |
|----------|----------|----------|----|----|----------|----------|----|-----|------|
| | D7 N1 | D6 N0 | D5 | D4 | D3 B1 | D2 B0 | D1 | D0 | |
| Případ 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | ACK |
| Případ 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | BUSY |
| Případ 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | NACK |

7.1.5.2 Paket znaků UART

Datové a potvrzovací telegramy jsou přenášeny jako paket znaků UART, tento paket je tvořen tímto způsobem [15, s. 82]:

- 1 startovací bit,
- 8 datových bitů,
- paritní bit,

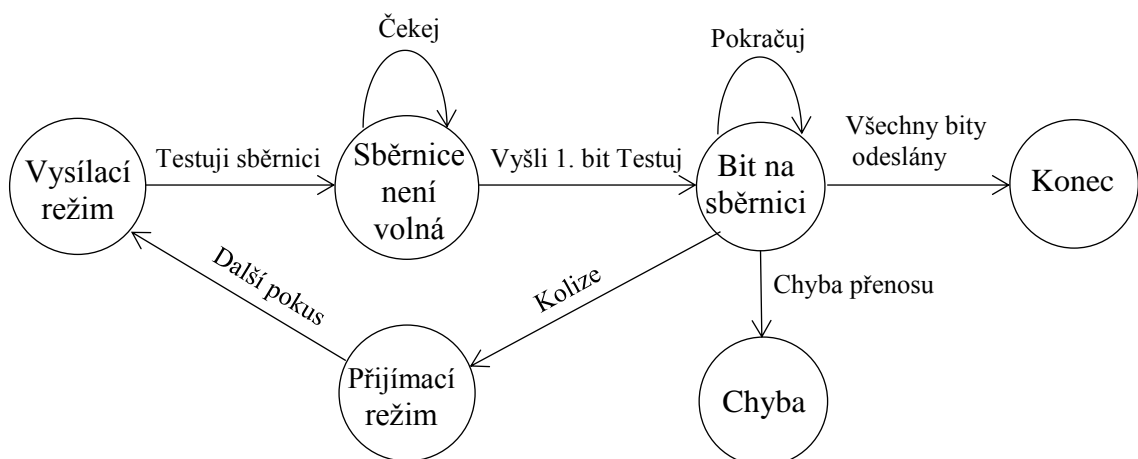
- koncový bit.

Před odesláním UART paketu se ještě vkládá mezera dvou bitů. Znaky KNX/EIB tedy zabírají 13 bitových časových intervalů. [15, s. 82]

7.1.5.3 Provoz na sběrnici

Pokud chtějí dvě účastnické stanice vysílat telegram současně, dochází ke kolizi na sběrnici. Pro vyřešení tohoto konfliktu s určením telegramu, který má být vyslán jako první v celém rozsahu, se v systému KNX/EIB využívá přístupové metody CSMA/CA. [15, s. 83]

Chce-li účastník vysílat datový telegram, je potřeba nejprve ověřit, jeli sběrnice volná. Vstupuje-li nějaká událost na sběrnici, vysílač ji nejprve sleduje, zdali je volně k dispozici. Za volnou je považována, pokud se po dobu potřebnou pro přenos 50 bitů neuskuteční žádný přenos dat. [15, s. 83]



Obrázek 22 – Přehled postupu vysílání v protokolu CSMA/CA [15, s. 83]

CSMA/CA je protokol, umožňující řešit konflikty v přístupu na sběrnici, aby vysílač mohl vysílat svůj telegram bez ztráty času. Postup vysílání v protokolu CSMA/CA je znázorněn na obrázku 22. [15, s. 83]

O přístupu na sběrnici KNX/EIB se rozhoduje prostřednictvím [15, s. 85]:

- dvou prioritních bitů D3 a D2 v kontrolním poli, v tabulce 13 jsou uvedeny priority telegramů v KNX/EIB,
- opakovacím bitem D5 v kontrolním poli,
- bitů zdrojové adresy.

Tabulka 13 – Priority [15, s. 85]

| D3 (P1) | D2 (P0) | Priority (typu telegramu) |
|---------|---------|---------------------------|
| 0 | 0 | systemová priorita |
| 1 | 0 | poplachová priorita |
| 0 | 1 | vysoká priorita |
| 1 | 1 | nizká priorita |

7.1.6 Software KNX/EIB

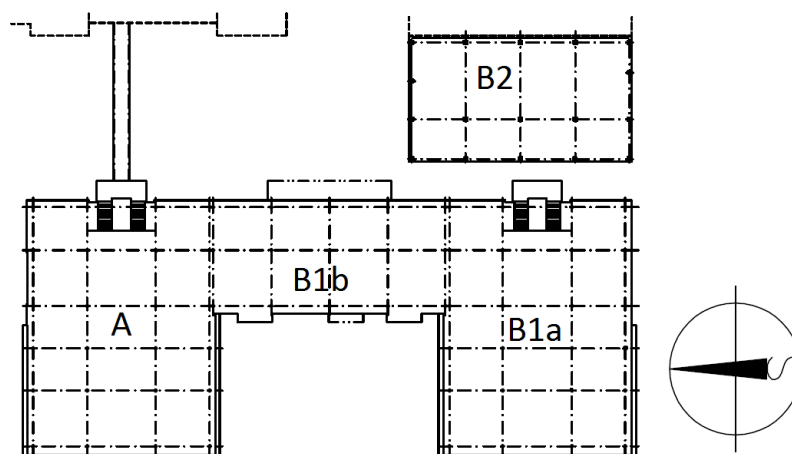
KMX/EIB je decentralizovaný systém, který má systémové programy a aplikace uloženy v jednotlivých zařízeních. Tento software lze rozdělit do tří druhů [15, s. 100]:

- systémový software – zejména ten, který je určen pro datovou komunikaci, je zabudován do přístroje již od výrobce,
- aplikační software – konkrétní pro každý přístroj, jsou k dispozici v databance produktů ETS, kam jej uložil výrobce. Uživatel si vybere konkrétní software, který potřebuje a ten potom nastaví podle svých potřeb a pomocí ETS uloží do přístroje,
- ETS je program pro projektování a uvádění instalace KNX/EIB do provozu.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 POPIS OBJEKTU A OKRAJOVÝCH PODMÍNEK

Pro účely diplomové práce byla zvolena budova Vědeckotechnického parku ICT umístěného vedle budovy Fakulty aplikované informatiky, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Objekt je třípodlažní budova, kterou lze pro lepší orientaci rozdělit do tří částí „Objekt A“, „Objekt B1“, ten je pro přehlednější výpočty ještě rozdělit na „Objekt B1a“ a „Objekt B1b“, jako poslední část celého ICT je „Objekt B2“. Názorné rozdělení je znázorněno na obrázku 23.



Obrázek 23 – Rozdělení ICT na objekty s orientací objektu.

Pro vyhodnocení stavebních konstrukcí objektu a výpočet tepelných ztrát je nutné znát výpočtové hodnoty vnějších a vnitřních parametrů. Tyto parametry jsou uvedeny v tabulce 14 a byly získány z programu Stavební fyzika.

Tabulka 14 – Okrajové podmínky objektu ICT.

| | |
|---|-------------------|
| Umístění objektu, nadmořská výška | Zlín, 248 m. n. m |
| Krajina bez intenzivních větrů, nechráněná poloha | |
| Počet topných dnů | 212 |
| Venkovní výpočtová teplota | -15 °C |
| Průměrná teplota venkovního vzduchu v topném období | 3,6 °C |
| Průměrná vnitřní teplota | 21 °C |

9 TEPELNÉ VLASTNOSTI BUDOVY

V této kapitole byly řešeny požadavky normy ČSN 73 0540 – 2 [7], na tepelné vlastnosti a povrchovou teplotu jednotlivých konstrukcí. Dále byly vypočítány tepelné ztráty, podle normy ČSN EN 12 831 [8] a tepelné zisky, podle normy ČSN 73 0548 [9].

9.1 Součinitel prostupu tepla jednotlivými konstrukcemi

Budova Vědeckotechnického parku ICT je vystavěna jako skeletový systém s vyzděnými obvodovými stěnami, do nichž jsou umístěna okna. Jednotlivé skladby konstrukce použité v dílčích objektech a patrech jsou zapsány v tabulce 15 a tabulce 16. Podrobnější rozpis složení jednotlivých konstrukcí je v Příloze I. V tabulce 17 jsou vypsány jednotlivé výplně otvorů, ty byly určeny na základě podkladů projektu.

Tabulka 15 – Použité konstrukce a jejich vypočtené hodnoty pro „Objekt A“ a „Objekt B2“.

| Název konstrukce | Vypočtené hodnoty | |
|---|--|--|
| | Tepelný odpor konstrukce R [m ² ·K/W] | Součinitel prostupu konstrukce U [W/(m ² ·K)] |
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 550 mm | 4,36 | 0,221 |
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 460 mm + železobetonová monolitická ztužující stěna | 3,94 | 0,243 |
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 540 mm | 4,28 | 0,202 |
| Obvodové zdivo TL. 350 mm | 3,54 | 0,270 |
| Střešní plášť a, b, d | 5,80 | 0,168 |
| Střešní plášť c | 5,31 | 0,183 |
| Střešní plášť nad A4.01, B4.04 – B4.11 | 22,84 | 0,430 |
| Podlaha přilehlá k zemi | 3,33 | 0,286 |
| Podlaha nad volným prostorem | 6,01 | 0,161 |

Tabulka 16 – Použité konstrukce a jejich vypočtené hodnoty pro „Objekt B2“.

| Název konstrukce | Vypočtené hodnoty | |
|--------------------------------------|--|--|
| | Tepelný odpor konstrukce R [m ² ·K/W] | Součinitel prostupu konstrukce U [W/(m ² ·K)] |
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 460 mm | 3,85 | 0,249 |
| Střešní plášť, objekt B2 | 5,68 | 0,172 |
| Podlaha přilehlá k zemi | 2,63 | 0,358 |

Tabulka 17 – Použité výplně otvorů

| Název výplně | Součinitel prostupu konstrukce U [W/(m ² ·K)] |
|----------------|--|
| Okno | 0,89 |
| Skleněná stěna | 1,00 |
| Dveře skleněné | 1,00 |
| Dveře plechové | 1,50 |

9.2 Průměrný součinitel tepla

Po získání součinitelů prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce bylo zapotřebí vypočítat průměrný součinitel prostupu tepla budovy. Ten se vypočítá podle rovnice 3.8 a to pro referenční budovu i pro hodnocenou budovu. Tyto výpočty jsou rozepsány v Příloze II.

Tabulka 18 – Suma plochy obvodových konstrukcí a měrné ztráty prostupem tepla pro referenční a hodnocenou budovu

| | $\sum A$ | $\sum H_T$ |
|-------------------|----------|------------|
| Referenční budova | 8 056,80 | 4 655,00 |
| Hodnocená budova | 8 056,80 | 2 941,93 |

Požadovaná hodnota U_{em} vypočtená pomocí rovnice 3.8, která musí splňovat také podmínku z tabulky 7, kdy $A/V = 0,09 < 0,2$, to znamená maximální možná hodnota $U_{em,N,20} = 1,05$ [W/m²·K].

Součinitel prostupu tepla pro referenční budovu, hodnota požadovaná:

$$U_{em,req} = \frac{\sum H_T}{\sum A} + 0,02 = \frac{4655,00}{8056,80} + 0,02 = 0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Součinitel prostupu tepla pro hodnocenou budovu:

$$U_{em,skut} = \frac{\sum H_T}{\sum A} + 0,02 = \frac{2941,93}{8056,80} + 0,02 = 0,3851 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Porovnáním těchto výsledků je patrné, že hodnota průměrného součinitele prostupu tepla vyhovuje hodnotě požadované.

Poté bylo možné určit klasifikační třídu obálky budovy. $CI = \frac{U_{em,skut}}{U_{em,req}} = \frac{0,3851}{0,6} = 0,64$.

Což odpovídá klasifikační třídě B, úsporná budova. Tento výpočet byl proveden podle normy ČSN 73 0540 – 2 [7] příloha B.2 a příloha C.2.

9.3 Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce

U jednotlivých konstrukcí byla zkoumána vnitřní povrchová teplota θ_{si} a teplotní faktor $f_{R_{si}}$. Výpočet byl proveden podle rovnice 3.1(3.1).

Tabulka 19 – Hodnoty vnitřní povrchové teploty a teplotního faktoru požadované normou a vypočítané pro zkoumané konstrukce.

| Název konstrukce | Kritický teplotní faktor $f_{R_{si}}$ [-] | Teplota odpovídající kritickému faktoru θ_{si} [°C] |
|---|---|--|
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 550 mm | 0,945 | 19,01 |
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 460 mm + žb. monolitická ztužující stěna | 0,939 | 18,81 |
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 540 mm | 0,950 | 19,18 |
| Obvodové zdivo TL. 350 mm | 0,933 | 18,57 |
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 460 mm | 0,958 | 19,49 |
| Střešní plášť a, b, d | 0,954 | 19,35 |
| Střešní plášť c | 0,893 | 17,13 |
| Střešní plášť nad A4.01, B4.04 – B4.11 | 0,929 | 18,43 |
| Střešní plášť, objekt B2 | 0,960 | 19,55 |
| Podlaha nad volným prostorem | 0,960 | 19,56 |

Pro všechny konstrukce jsou kritický teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{R_{si,cr}}$ a jemu odpovídající teplota $\theta_{si,cr}$, stejné a to z důvodu, že na všechny konstrukce jsou kladeny stejné požadované hodnoty, návrhová venkovní teplota $\theta_e = -15$ °C a návrhová teplota vnitřního vzduchu $\theta_{ai} = 21$ °C. Podle normy ČSN 73 0540 – 2 [7] tedy $f_{R_{si,cr}} = 0,744$ a tomu odpovídá $\theta_{si,cr} = 11,04$ °C.

Z tabulky 19 je patrné, že všechny konstrukce splňují podmínku $f_{R_{si}} \geq f_{R_{si,N}}$, kde $f_{R_{si,N}} = f_{R_{si,cr}}$.

9.4 Zkondenzovaná vodní pára v konstrukci

Jeden z požadavků na konstrukce podle normy ČSN 73 0540 – 2 [7] je i množství zkondenzované vody v konstrukci. Tato problematika je popsána v kapitole 3.2. Hodnoty množství zkondenzované a vypařené vodí páry, byly získány pomocí programu Teplo 2011 z balíku programů Stavební fyzika.

Tabulka 20 – Hodnoty zkondenzované vodní páry v konstrukcích

| Název konstrukce | Maximální množství zkondenzované vodní páry $M_{\zeta,N}$ [kg/m ² , rok] | Množství zkondenzované vodní páry $M_{\zeta,a}$ [kg/m ² , rok] | Množství vypařitelné vodní páry $M_{ev,a}$ [kg/m ² , rok] |
|--|---|---|--|
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 550 mm | 0,5 | 0,156 | 4,310 |
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 460 mm + žb. monolitická ztužující stěna | 0,5 | 0,168 | 0,703 |
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 540 mm | 0,5 | 0,215 | 4,307 |
| Obvodové zdivo TL. 350 mm | 0,5 | 0,421 | 1,567 |
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 460 mm | 0,5 | 0,030 | 3,220 |
| Střešní plášť a, b, d | 0,5 | 0,004 | 0,062 |
| Střešní plášť c | 0,1 | 0,000 | 0,087 |
| Střešní plášť nad A4.01, B4.04 – B4.11 | 0,1 | 0,025 | 0,223 |
| Střešní plášť, objekt B2 | 0,5 | 0,009 | 0,075 |
| Podlaha nad volným prostorem | 0,5 | 0,003 | 4,391 |

9.5 Tepelná stabilita pro zimní a letním období

Podmínky určující tepelnou stabilitu místnosti v zimním a letním období jsou popsány v kapitolách 3.3.1 a 3.3.2. Pro určení stability pro objekt ICT byl použit program Stabilita 2011 pro určení zimní stability. Pro určení tepelné stability v letním období byl využit program Simulace 2011.

Výsledkem z programu Stabilita 2011 bylo zjištění, že maximálního poklesu teploty se dosáhne po 4 h otopné přestávky, s ohledem na potřebný zátopný čas proto s přerušovaným vytápěním není uvažováno a tím pádem ani počítáno.

Výsledkem z programu Simulace 2011 bylo zjištění, že i přes intenzivní větrání a zatažené venkovní rolety bude v místnosti teplota přesahující normou dovolenou hodnotu. Z tohoto důvodu je nutné místnosti v objektu klimatizovat.

9.5.1 Výpočet tepelných ztrát

Tepelné ztráty byly vypočítány podle postupu normy ČSN EN 12831 [8], postup je popsán v kapitole 3.4. Pro výpočet tepelných ztrát budovy byl využit program Ztráty 2011. Hodnoty vypočtené programem byly namátkově ověřeny ručním výpočtem podle výše zmíněného postupu. Tepelné ztráty jednotlivých místností jsou rozepsány v Příloze III, v tabulce jsou vypsány tepelné ztráty jednotlivých objektů.

Tabulka 21 – Tepelné ztráty jednotlivých objektů

| | Půdorysná plocha objektu A [m ²] | Obestavěný prostor vytápěných částí budovy V [m ³] | Tepelná ztráta prostupem Φ_T [kW] | Tepelná ztráta větráním Φ_V [kW] | Celkové tepelné ztráty Φ_{HL} [kW] |
|------------|---|---|--|---|---|
| Objekt A | 534,0 | 7 072,2 | 32,181 | 34,351 | 66,532 |
| Objekt B1a | 534,0 | 7 383,8 | 33,812 | 35,480 | 69,292 |
| Objekt B1b | 301,9 | 3 352,0 | 9,230 | 17,011 | 26,421 |
| Objekt B2 | 350,0 | 2 788,6 | 8,652 | 12,403 | 21,055 |

9.5.2 Tepelné zisky

Pro správný návrh klimatizačního zařízení bylo potřeba vypočítat tepelné zisky jednotlivých místností. Problematika výpočtu tepelných ztrát je popsána v kapitole 3.5. Pro tento účel bylo použito rozšíření pro MS Excel. Hodnoty vypočtené pomocí MS Excel

byly opět namátkově zkontrolovány ručním výpočtem. Podrobné výsledky tepelných zisků pro „Objekt A“ a „Objekt B2“ jsou vypsány v Příloze IV

Pro „Objekt A“ a vzhledem k téměř totožnému dispozičnímu rozmístění i „Objekt B1a“, bylo vypočítáno největších tepelných zisků v Srpnu ve 13 hodin a to 58 087 W.

Pro „Objekt B2“ pak celkové tepelné zisky činily 24 553 W.

10 NÁVRH SYSTÉMU TVORBY MIKROKLIMATU

Tato kapitola popisuje návrh mikroklimatických podmínek v budově. V „Objektu A“ bylo využito otopných těles na pokrytí celkových ztrát a to i přes zadání diplomové práce a to z důvodu, že se jedná o budovu s železobetonovým skeletem a neznalost statiky či stavebnictví neumožňuje bezpečnou instalaci rozvodů vzduchotechniky. Základní parametry vzduchotechnického zařízení byly vypočítány pro „Objekt B2“.

Obrázek 24 znázorňuje schéma vytápěcího systému. Tato kapitola popisuje návrh jednotlivých částí tohoto systému.

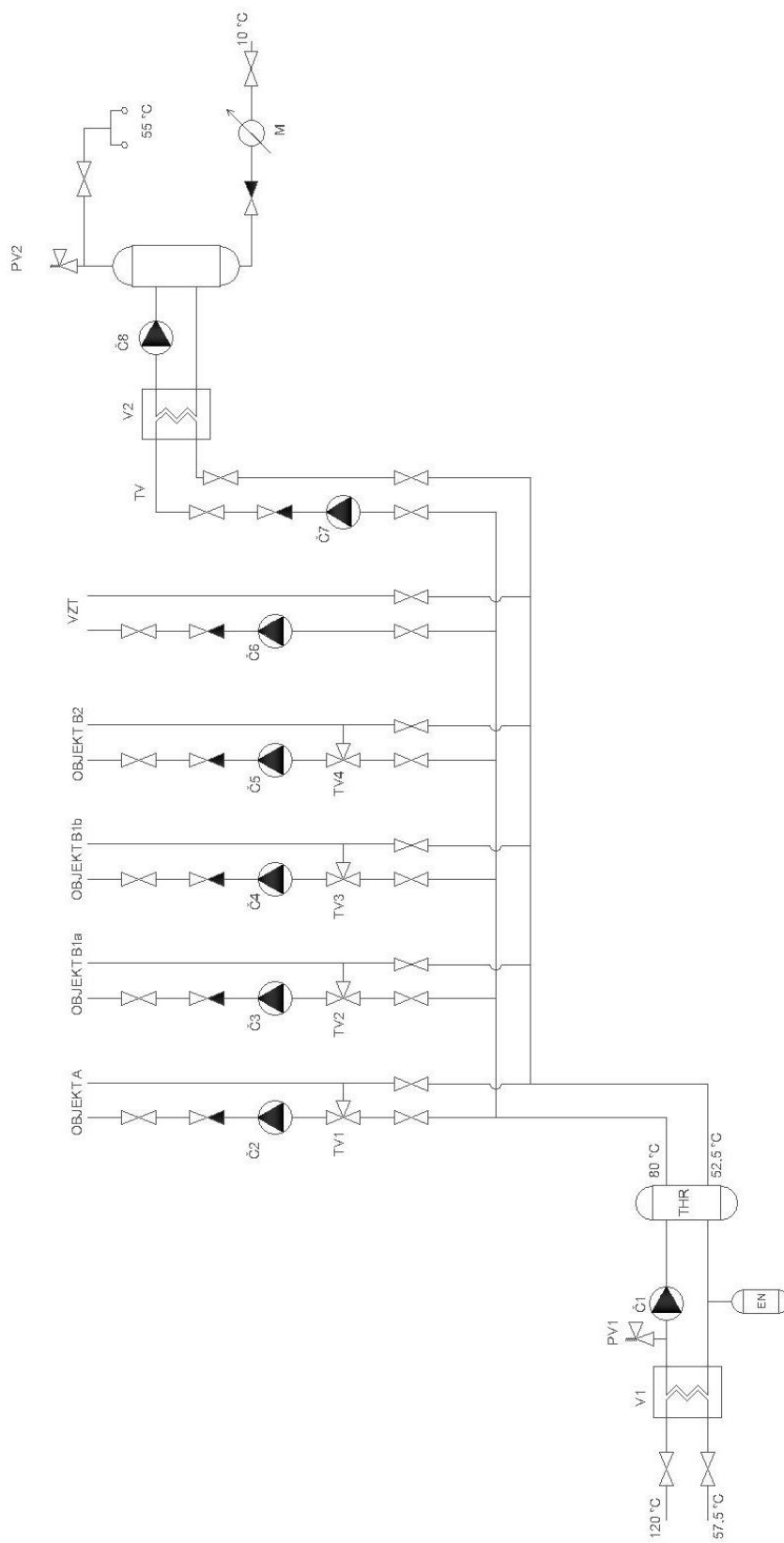
Jako zdroj tepla byla zvolena tlakově nezávislá přípojka na parní potrubí. Bylo tedy nutné určit přípojný výkon výměníku. Tento výkon se určí podle kapitoly 5.4.5. Pro určení tohoto výkonu bylo tedy nutné nejprve vypočítat jednotlivé potřebné tepelné výkony.

Jako první byl počítán tepelný výkon potřebný na vytápění v „Objektu A“, „Objektu B1a“, „Objektu B1b“ a pro „Objekt B2“ u něhož je otopnými tělesy pokryta pouze tepelná ztráta prostupem. Pro „Objekt A“ byl proveden i návrh výpočtu otopné soustavy, pro nejvyšší patro daného objektu. Pro „Objekt B1a“, „Objekt B1b“ i „Objekt B2“ jsou navrhována pouze otopná tělesa a tím potřebný tepelný výkon.

Druhá část přípojného výkonu výměníku byla určena jako potřebný tepelný výkon na ohřev vzduchu pro vzduchotechniku „Objektu B2“.

Poslední částí přípojného výkonu byl počítán ohřev teplé vody.

Tato kapitola popisuje také návrh chladicích systémů pro „Objekt A“ a „Objekt B2“.



Obrázek 24 – Schéma vytápěcího systému

10.1 Vytápěcí výkon

Vytápěcím výkonem, se myslí výkon, který je odebírán otopnými tělesy. Návrh těchto výkonů byl proveden pro všechny části objektu. Souhrnný rozpis potřebných výkonů je v tabulce. Podrobný rozpis výkonů „Objektu A“ a „Objektu B2“ je rozepsán v Příloze V.

Tabulka 22 – Zjednodušený výpis výkonů OT po objektech a patrech

| | Objekt A | Objekt B1a | Objekt B1b | Objekt B2 |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Patro | Výkon OT [kW] | Výkon OT [kW] | Výkon OT [kW] | Výkon OT [kW] |
| 1. PP | 5,028 | 3,562 | 5,352 | 9,882 |
| 1. NP | 19,339 | 19,779 | 10,830 | – |
| 2. NP | 22,592 | 20,637 | 8,516 | – |
| 3. NP | 24,185 | 23,783 | – | – |
| 4. NP | – | 8,725 | – | – |
| Σ | 71,144 | 76,486 | 24,698 | 9,882 |
| ΣΣ | 182,210 | | | |

Pro návrh OT bylo využito volně dostupného programu pro přepočítání tepelných výkonů od firmy Korado, a.s.. [23]

10.1.1 Návrh potrubní sítě otopných těles

Po určení výkonu otopných těles bylo potřeba navrhnout potrubní síť těchto těles. Detailní výpočet byl proveden pro „Objekt A“ 3. NP.

Na obrázku 25 je znázorněno zjednodušené schéma soustavy otopných těles. Zjednodušené je v tom, že jedno otopné těleso tu prezentuje celou místnost. Pro potrubní síť bylo zvoleno souprůdného zapojení. Toto zapojení bylo využito i v jednotlivých místnostech. To znamená, že při nahrazení zástupného označení místnosti příslušným počtem otopných těles podle Přílohy V lze získat úplné schématické zapojení soustavy otopných těles. Nezjednodušené schéma je přiloženo v Příloze VI.

V Příloze VII je půdorys 3. NP se zakreslenými otopnými tělesy a zakreslenou potrubní sítí.

Výpočet byl proveden rozdělením sítě na jednotlivé úseky, hranicemi úseků byly zvoleny změny hmotnostních průtoků. Popis výpočtu je popsán v kapitole 5.2.4.

Zjednodušené schéma bylo použito hlavně pro zpřehlednění a tím i zjednodušení výpočtů. Nejprve byly vypočteny tlakové ztráty jednotlivých místností, ty byly pak zapsány do tabulky obsahující všechny místnosti, vedení na patře a stoupací vedení. Tyto výpočty jsou uvedeny pro „Objekt A“ v Příloze VIII.



Obrázek 25 – Zjednodušené schéma soustavy otopných těles

Celková tlaková ztráta vytápěcího okruhu pro „Objekt A“ byla stanovena na $\Delta p_{A3} = 10\,972,9$ Pa. Z tohoto výpočtu bylo možné určit dopravní tlak čerpadla, za předpokladu zanedbání všech vřazených armatur, $\Delta p_{\xi} = 15\,362,1$ Pa, dále označován jako disponibilní Δp_{disp} .

Pro správný návrh čerpadla bylo tedy potřeba nejprve vypočítat tyto armatury, mezi ně se řadí trojcestný ventil a regulační ventil otopných těles, který ovládá celou místnost.

- Výpočet trojcestného ventilu [22, s. 133]:

$$\Delta p_{disp} = 0,154 \text{ bar}$$

$$\Delta p_{pot} = 0,089 \text{ bar}$$

$$\Delta p_{spot} = 0,021 \text{ bar}$$

$$\dot{Q}_{nom} = 3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta p_{vent} = \Delta p_{disp} - \Delta p_{pot} - \Delta p_{spot} = 0,154 - 0,089 - 0,021 = 0,044 \text{ bar}$$

$$k_v = \frac{\dot{Q}_{nom}}{\sqrt{\Delta p_{vent}}} = \frac{3}{\sqrt{0,044}} = 14,30 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$K_{vs} = (1,1 \div 1,3) \cdot k_v = (15,73 \div 18,59) \text{ m}^3/\text{h}$$

Z katalogu výrobce byl vybrán trojcestný ventil s nejbližší hodnotou K_{vs} , což je $K_{vs} = 16 \text{ m}^3/\text{h}$.

Tlaková ztráta ventilu byla určena jako

$$\Delta p_{\text{ventil},h100} = \left(\frac{\dot{Q}_{nom}}{K_{vs}} \right)^2 = \left(\frac{3}{16} \right)^2 = 0,035 \text{ bar.}$$

- Výpočet regulačního ventilu [22, s. 132]:

$$\Delta p_{disp} = 0,154 \text{ bar}$$

$$\Delta p_{pot} = 0,089 \text{ bar}$$

$$\Delta p_{spot} = 0,021 \text{ bar}$$

$$\dot{Q}_{nom} = 0,094 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{Q}_{nom} = 0 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta p_{vent} = \Delta p_{\zeta} - \Delta p_{pot} - \Delta p_{spot} = 0,154 - 0,089 - 0,021 = 0,044 \text{ bar}$$

$$k_v = \frac{\dot{Q}_{nom}}{\sqrt{\Delta p_{vent}}} = \frac{0,094}{\sqrt{0,044}} = 0,45 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$K_{vs} = (1,1 \div 1,3) \cdot k_v = (0,49 \div 0,58) \text{ m}^3/\text{h}$$

Z katalogu výrobce je patrné, že tomuto rozmezí K_{vs} neodpovídá žádná hodnota, pro správnou regulaci se tedy volí nejbližší nižší hodnota, to znamená $K_{vs} = 0,4 \text{ m}^3/\text{h}$.

$$\text{Tlaková ztráta ventilu je tedy } \Delta p_{\text{ventil},h100} = \left(\frac{\dot{Q}_{nom}}{K_{vs}} \right)^2 = \left(\frac{0,094}{0,4} \right)^2 = 0,055 \text{ bar}$$

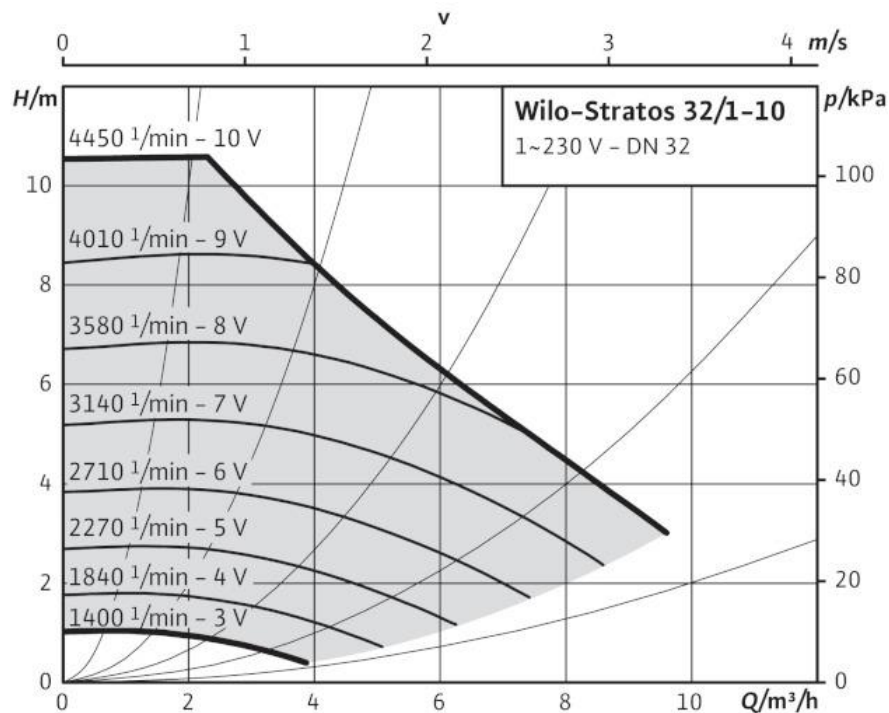
Bylo potřeba také zkontrolovat autoritu ventilu

$$a = \frac{\Delta p_{\text{ventil},h100}}{\Delta p_{\text{ventil},h0}} = \frac{0,055}{0,15} = 0,367 > 0,3$$

Pro správný návrh čerpadla bylo potřeba k již vypočtenému disponibilnímu tlaku připočítat tlakovou ztrátu jak trojcestného ventilu, tak ventilu regulačního.

$$\Delta p_{\zeta} = \Delta p_{disp} + \Delta p_{CV316RGA} + \Delta p_{CV216MZ} = 0,154 + 0,035 + 0,055 = 0,244 \text{ bar}$$

Se znalostí potřebného tlaku na čerpadle, znalostí potřebné dopravní výšce, a maximálního průtočného množství bylo možné vybrat čerpadlo. Pro tento okruh bylo vybráno čerpadlo Wilo-Stratos 32/1-10. Charakteristika tohoto čerpadla je na obrázku 26.



Obrázek 26 – Charakteristika čerpadla Wilo-Stratos 32/1-10

Za předpokladu stejné tlakové ztráty na všech okruzích byly určeny trojcestné ventily a čerpadla pro ostatní okruhy otopných těles.

Tabulka 23 – Souhrn použitých trojcestných ventilů a čerpadel pro otopné okruhy

| Okruh | Trojcestný ventil | Čerpadlo |
|--------------|-------------------------------------|----------------------|
| „Objekt A“ | $K_{vs} = 16 \text{ m}^3/\text{h}$ | Wilo-Stratos 31/1-10 |
| „Objekt B1a“ | $K_{vs} = 16 \text{ m}^3/\text{h}$ | Wilo-Stratos 31/1-10 |
| „Objekt B1b“ | $K_{vs} = 6,3 \text{ m}^3/\text{h}$ | Wilo-Stratos 25/1-6 |
| „Objekt B2“ | $K_{vs} = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ | Wilo-Stratos 25/1-6 |

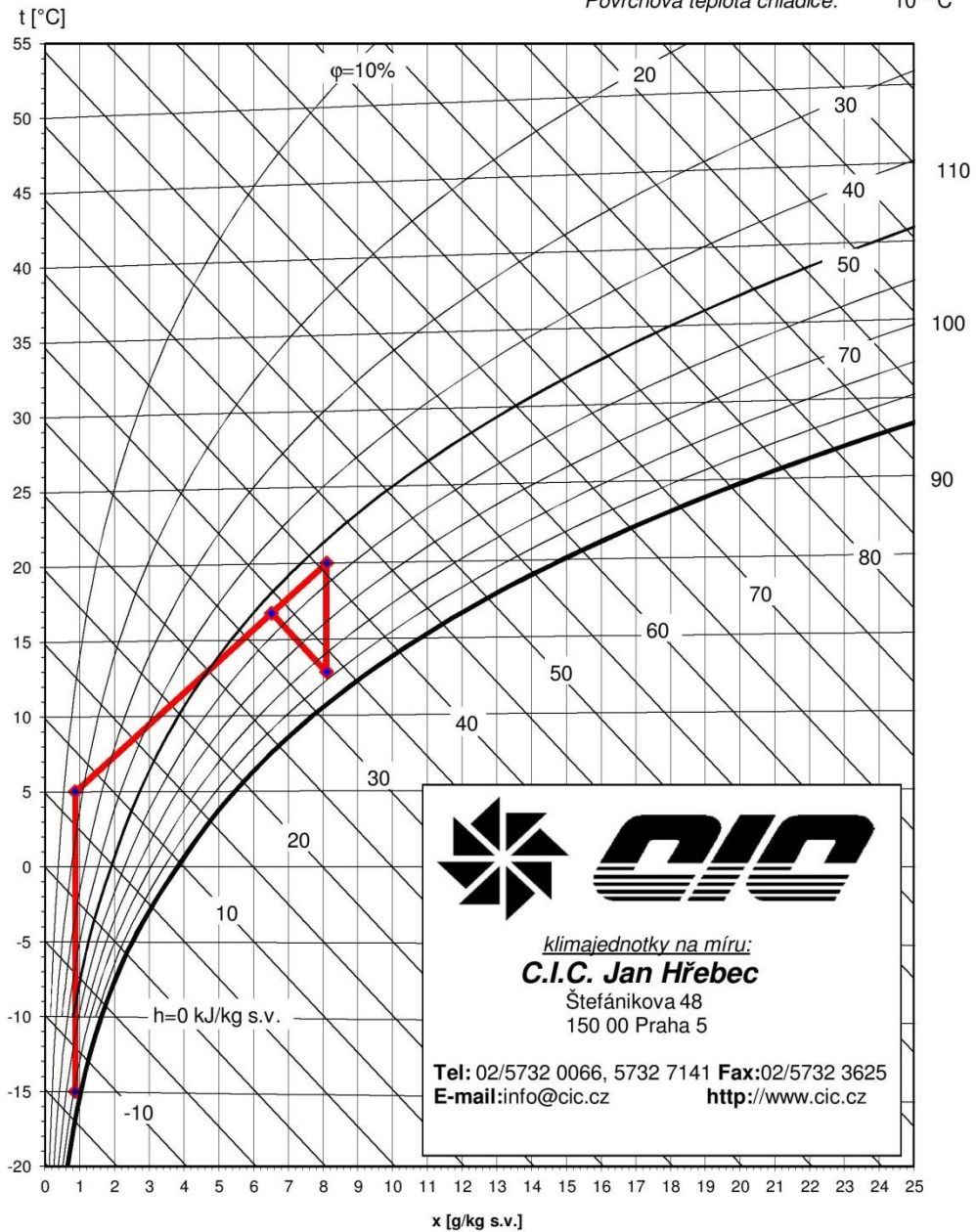
10.2 Tepelný výkon potřebný vzduchotechnikou

Tepelný výkon je potřeba převážně v zimním období kdy je „Objekt B2“ teplovzdušně větrán. Výpočet byl proveden na základě praktických příkladů ze studia na FAI UTB. Tyto výpočty pak byly ověřeny HX diagramem pro MS Excel [24], ty jsou na obrázku 27.

Ruční výpočet a výpočet pomocí programu byl téměř shodný, odchylky se dají chápat nepřesným odečtem hodnot z HX diagramu při ručním výpočtu. Proto bylo rozhodnuto o vložení výsledků výpočtu z programu. Z tabulky pod grafem je patrné, že na přehřev je potřeba tepelný výkon 1,7 kW a na do ohřátí 2,8 kW. Ve výsledku tedy potřebujeme 4,5 kW tepelného výkonu.

Psychrometrický diagram dle Molliera

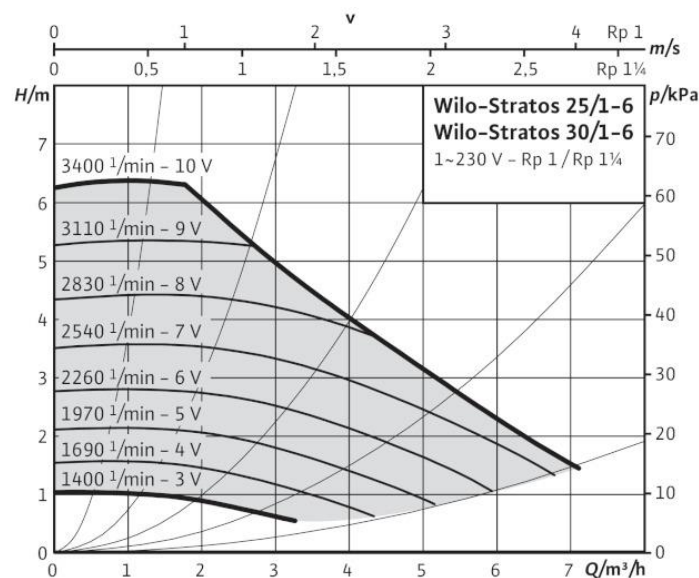
Tlak vzduchu: 100 kPa
 Max. vlhkost při úpravách: 100 %
 Povrchová teplota chladiče: 10 °C



| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------|----|-------------------|-------|------|------|-------|-------|-------|---|---|---|----|
| Teplota | t | °C | -15,0 | 5,0 | 20,0 | 16,8 | 12,8 | 20,0 | | | | |
| rel. vlhkost | φ | % | 85% | 16% | 55% | 54% | 87% | 55% | | | | |
| měr. vlhkost | x | g/kg s.v. | 0,9 | 0,9 | 8,1 | 6,5 | 8,1 | 8,1 | | | | |
| entalpie | h | kJ/kg s.v. | -13,0 | 7,2 | 40,8 | 33,4 | 33,4 | 40,8 | | | | |
| hustota | ρ | kg/m ³ | 1,35 | 1,25 | 1,18 | 1,20 | 1,21 | 1,18 | | | | |
| t. vlhkého tepl. | tv | °C | -12,4 | -0,9 | 14,4 | 11,7 | 12,0 | 14,5 | | | | |
| Skut. průtok | Vs | m ³ /h | 224 | 242 | 921 | 1 163 | 1 150 | 1 179 | | | | |
| Norm. průtok | Vn | m ³ /h | 252 | 252 | 900 | 1 152 | 1 152 | 1 152 | | | | |
| Předaný výkon | P | kW | | 1,7 | | | 0,0 | 2,8 | | | | |
| Odpážené vody | qw | kg/h | | 0,0 | | 0,0 | 2,2 | 0,0 | | | | |

Obrázek 27 – Výpočet teplovzdušného vytápění pomocí programu HX diagramem pro MS Excel [24]

Po výpočtu potřebného tepelného výkonu vzduchotechnikou bylo možné navrhnout i pro tento okruh čerpadlo, opět byla předpokládána stejná tlaková ztráta, jaká byla vypočtena u okruhu pro vytápění „Objektu A“. Pro okruh vzduchotechniky bylo zvoleno stejné čerpadlo jako pro vytápěcí okruh „Objektu B1a“ a „Objektu B2“ a to čerpadlo Wilo-Stratos 25/1-6, jeho charakteristika je na obrázku 28.



Obrázek 28 – Charakteristika čerpadla Wilo-Stratos 25/1-6

10.3 Návrh teplé vody

I když se jedná především o budovu administrativního typu, bylo rozhodnuto o centrálním zásobování teplou vodou. Důvodem tohoto rozhodnutí bylo umístění kuchyňských koutů na každém podlaží „Objektu A“ a „Objektu B1a“ a také nutnost teplé vody pro úklid. Popis návrhu teplé vody je v kapitole 5.3.

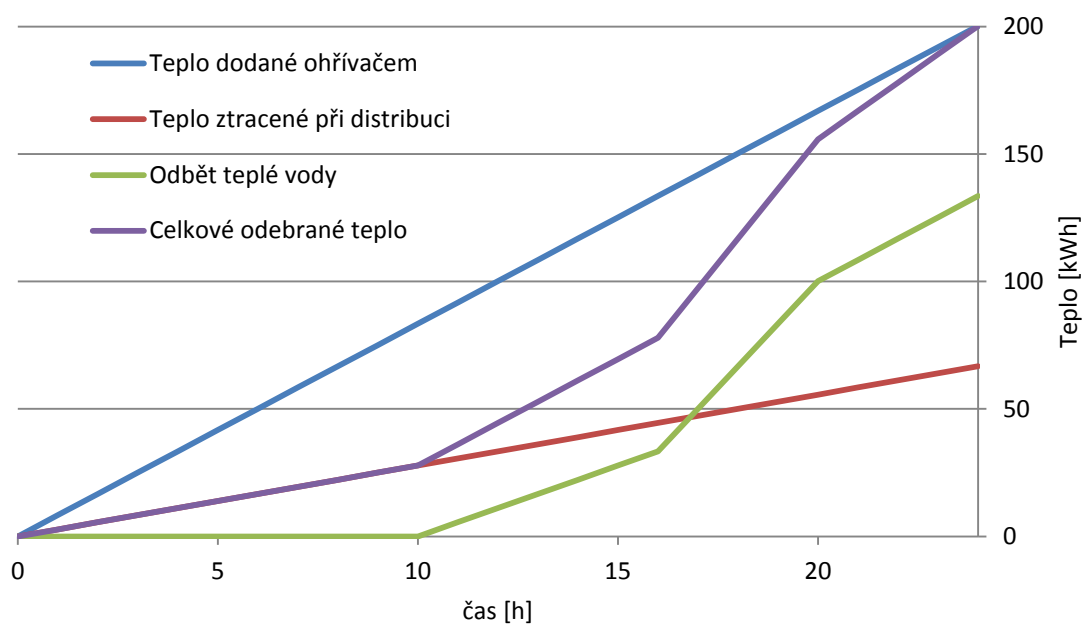
Výpočet teplé vody byl proveden pro předpokládaný maximální počet osob 220 a úklid 50 normovaných ploch, normovanou plochou se rozumí měrná jednotka úklidu.

Tabulka 24 – Výčet spotřeby teplé vody a spotřeby tepla

| Činnost | Měrná jednotka | Spotřeba V_{2p} [m ³] | Teplo Q_{2p} [kWh] | Součinitel současnosti s | Celková spotřeba V_{2p} [m ³] | Celková spotřeba tepla Q_{2p} [kWh] |
|-----------------------|--------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------------|---|---------------------------------------|
| Mytí | 1 os | 0,020 | 0,8 | 0,50 | 2,200 | 88,0 |
| Úklid | 100 m ² | 0,020 | 0,8 | 1,00 | 1,000 | 40,0 |
| Mytí jídelního nádobí | 1 jídlo | 0,001 | 0,1 | 0,25 | 0,055 | 5,5 |

Celková spotřeba teplé vody je pak $V_{2p} = 3,255 \text{ m}^3$ a celková spotřeba tepla $Q_{2p} = 133,5 \text{ kWh}$. Bylo také potřeba počítat se ztrátami při distribuci podle rovnice 5.22 $Q_{zz} = 66,75 \text{ kWh}$.

Po výpočtu spotřeby vody a tepla je nutné stanovit spotřebu teplé vody. Návrh odběru teplé vody je na obrázku 29. Vodorovná osa nereprezentuje skutečný čas spotřeby, ale čas spotřeby v cyklu. Z obrázku 29 je tedy patrné, že odběr teplé vody je naplánován po deseti hodinách začátku cyklu.



Obrázek 29 – Návrh spotřeby a dodávky teplé vody

Návrh spotřeby teplé vody v reálném čase je:

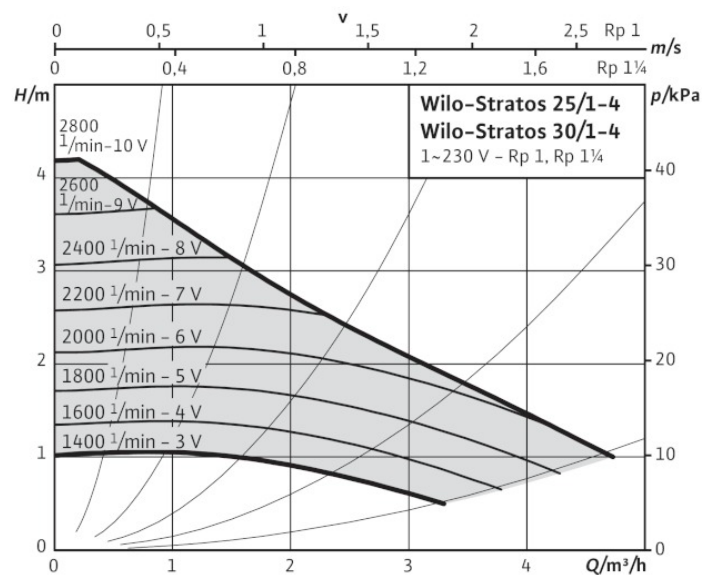
- 25 % spotřeby mezi šestou a dvanáctou hodinou,
- 50 % spotřeby mezi dvanáctou a šestnáctou hodinou,
- 25 % spotřeby mezi šestnáctou a dvacátou hodinou.

Při známosti křivek odběru bylo možné určit největší potřebnou zásobu tepla v zásobníku $\Delta Q_{max} = 55,625$ kWh. Velikost zásobníku byla vypočítána podle rovnice 5.24

$$V_z = \frac{55,625}{1,163 \cdot (55-10)} = 1,06 \text{ m}^3.$$

a to podle rovnice 5.25 $\Phi_{1n} = \frac{200,5}{24} = 8,34$ kW

Pro okruh teplé vody bylo zvoleno čerpadlo Wilo-Stratos 30/1-4, jeho charakteristika je na obrázku 30.



Obrázek 30 – Charakteristika čerpadla Wilo-Stratos 30/1-4

Pro ohřev teplé vody byl zvolen výměník o celkovém výkonu 10kW s teplosměnnou plochou $A = 0,13 \text{ m}^2$.

10.4 Celkový přípojný výkon

Po vypočítání jednotlivých potřeb tepla bylo potřeba určit přípojný výkon výměníku.

Tabulka 25 – Shrnutí potřebných tepelných výkonů.

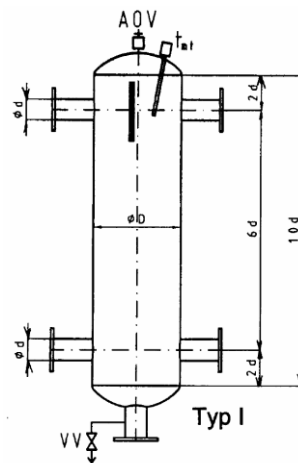
| Druh spotřeby | Tepelný výkon Φ [kW] |
|---------------------|---------------------------|
| Otopné okruhy | 182,21 |
| Vzduchotechnika | 4,50 |
| Příprava teplé vody | 8,34 |

Přípojný výkon zdroje je popsán v kapitole 5.4.5. V případě zvoleného objektu byl přípojný výkon počítán jako prostý součet všech potřeb a to z toho důvodu, že potřeba na vytápění je mnohonásobně větší než potřeby ostatní. Pokud by se počítalo podle

rovnice 5.30, došlo by k poddimenzování tepelného zdroje. Proto pro výpočet tepelného výkonu byla použita upravená rovnice 5.31(5.31), což znamená, že přípojný výkon byl vypočítán jako prostý součet všech tepelných výkonů. $\Phi_{přip} = \Phi_{top} + \Phi_{tv} + \Phi_{vzt} = 182,21 + 4,5 + 8,34 = 195,05 \text{ kW}$. Bylo nutné ovšem také počítat s určitou ztrátou při distribuci a také bylo nutné započítat určitou rezervu výkonu. Na pokrytí ztrát bylo uvažováno 6% přípojného výkonu, stejná hodnota byla uvažována i jako rezerva. Celkový přípojný výkon byl tedy stanoven na $\Phi_{PRIP} = 220 \text{ kW}$.

10.4.1 Návrh termo hydraulického rozdělovače

Jak je na obrázku 31 patrné, systém využívá, termo hydraulického rozdělovače, jeho návrh byl proveden pomocí výpočtových tabulek. [22, s. 164]

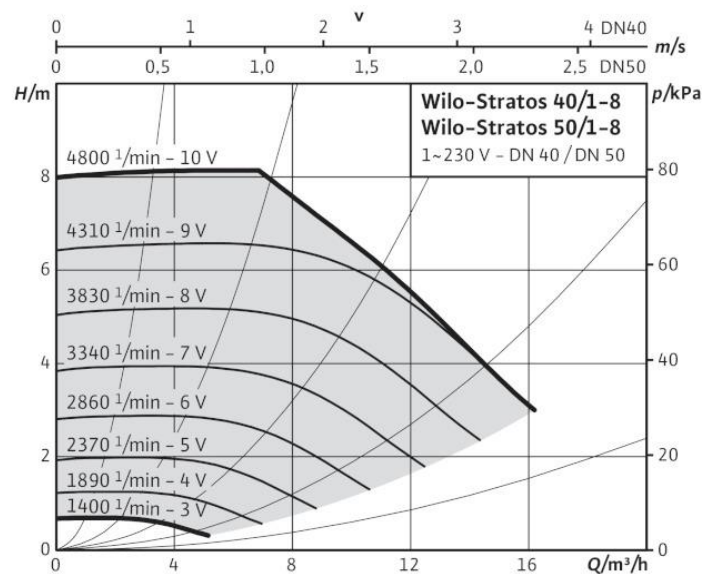


Obrázek 31 – Navrhovaný THR

Hodnoty THR jsou potom následující $\phi D = 159/4,5 \text{ mm}$ a $\phi d = 76/3,2 \text{ mm}$.

Jedno z pravidel návrhu THR je i vyšší hmotnostní průtok na primární straně THR. Hmotnostní průtok topné vody na sekundární straně THR je $\dot{m}_S = 8\,399 \text{ kg/h}$. Při výpočtu hmotnostního průtoku na primární straně THR při $\Delta\theta = 15 \text{ K}$ dostaneme hodnotu $\dot{m}_V = 12\,611 \text{ kg/h}$. Tato hodnota odpovídá $1,5 \cdot \dot{m}_S$ a tím splňuje pravidlo vyššího hmotnostního průtoku.

Při známém hmotnostním průtoku je možné navrhnout čerpadlo primární strany THR na schématu označené jako Č1. Bylo zvoleno čerpadlo Wilo-Stratos 50/1-8, jeho charakteristika je na obrázku 32.



Obrázek 32 – Charakteristika čerpadla Wilo-Stratos 50/1-8

10.4.2 Teplosměnná plocha primárního výměníku

Postup návrhu výpočtu výměníku je popsán v kapitole 5.4.2.

$$\theta'_1 = 120 \text{ °C}$$

$$\theta''_1 = 57,5 \text{ °C}$$

$$\theta'_2 = 80 \text{ °C}$$

$$\theta''_2 = 52,5 \text{ °C}$$

$$\Phi_{PRIP} = 220 \text{ kW}$$

$$U = 4,6405 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Vzhledem k problematice získání informací o součiniteli prostupu tepla u výměníku byla tato hodnota určena na základě známých parametrů výměníku řady, z nichž je použit výměník pro ohřev teplé vody.

Nejprve bylo nutné vypočítat podle rovnice 5.29 logaritmičkový rozdíl teplot.

$$\Delta\theta_{ls} = \frac{(40)-(5)}{\ln\left(\frac{40}{5}\right)} = 16,83 \text{ °C}$$

Podle rovnice 5.28 pak bylo možné vypočítat potřebnou teplosměnnou plochu výměníku s těmito parametry. $A = \frac{\Phi_{PRIP}}{U \cdot \Delta\theta_{ls}} = \frac{220}{4,6405 \cdot 16,83} = 2,82 \text{ m}^2$

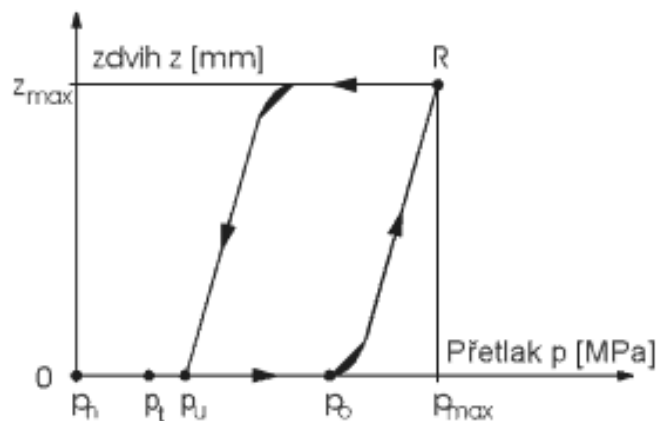
Posledním údajem co o výměníku bylo potřeba zjistit hmotnostní průtok primární strany, pro sekundární stranu byl hmotnostní průtok určen v kapitole 10.4.1. Pro primární stranu jej určíme z rovnice 5.26 $\dot{m}_p = \frac{220000}{4180 \cdot 57,5} = 0,915 \text{ kg/h}$.

10.4.3 Pojistná zařízení

Odůvodnění nutnosti a návrh pojistných zařízení je popsána v kapitole 5.5.

- Pojistný ventil

V kapitole 5.5.1 je popsán postup výpočtu pojistného ventilu podle příslušné normy. Pro výpočet bylo nutné znát několik tlaků a hodnot charakterizujících tento pojistný ventil, tyto údaje jsou patrné na obrázku 33.



Obrázek 33 – Průběh tlaků u pojistného ventilu [25]

p_n – pracovní tlak v jištěném zařízení v [kPa],

p_t – těsný tlak, při kterém je dosažena těsnost pojistného ventilu [kPa],

p_u – uzavírací tlak pojistného ventilu [kPa],

p_o – otevírací tlak pojistného ventilu [kPa],

p_{max} – tlak při plném otevření pojistného ventilu [kPa].

Při určení pracovního tlaku v jištěném zařízení $p_n = 200$ kPa, bylo možné určit i hodnoty ostatních tlaků. Výsledné tlaky jsou potom $p_u = 240$ kPa, $p_o = 300$ kPa, $p_{max} = 330$ kPa.

Při znalosti těchto tlaků bylo možné podle rovnic 5.32, 5.34 a 5.36 vypočítat potřebné hodnoty pojistného zařízení. $\Phi_p = 220$ kW, $A_o \geq \frac{2 \cdot 220}{0,444 \cdot p_{ot}^{0,5}} \rightarrow A_o \geq 57$ mm² a minimální průměr pojistného vedení $d_v = 10 + 0,6 \cdot 220^{0,5} \cong 19$ mm

Z normovaných hodnot byl vybrán pojistný ventil DUCO 1/2“ x 3/4“.

- Expanzní nádrž

V kapitole 5.5.2 je popsán postup.

Nejprve byl vypočítán počáteční přetlak $p_{p1} = 150$ kPa. Se znalostí tohoto tlaku byl vypočítán počáteční tlak $p_{a1} = p_{p1} + 100 = 150 + 100 = 250$ kPa. Tlak p_{a2} byl zvolen na povolenou hranici $p_{a2} = 350$ kPa.

Z těchto informací bylo možné vypočítat součinitele využití $\eta = \frac{350-250}{350} = 0,2857$

Podle směrných hodnot teplotnosné pracovní látky bylo zvoleno pro soustavu C, směrný objem $v = 7,5 \frac{1}{\text{kW}}$. Bylo pak možné určit obsah teplovodní soustavy $V = v \cdot \Phi_{PRIP} = 7,5 \cdot 220 = 1650$ l.

Měrné zvětšení objemu Δv bylo určeno pro $\Delta\theta = 75$ K, $\Delta v = 0,0320$ l/kW.

Zvětšení objemu vody pak bylo vypočítáno podle rovnice 5.38

$$\Delta V = 0,0320 \cdot 1650 = 53,76 \text{ l.}$$

Velikost expanzní nádoby pak byla vypočtena pomocí rovnice 5.41

$$V_c = 1,3 \cdot \frac{53,76}{0,2857} = 245 \text{ l.}$$

Byla vybrána expanzní nádoba o objemu 300l.

10.5 Chlazení „Objektu A“ a „Objektu B2“

V kapitole 9.5 je uvedeno, že budova nesplňuje požadavky na maximální teplotu v místnosti v letním období a je jí tedy potřeba strojně chladit.

Pro návrh výkonů chladících zařízení v jednotlivých místnostech v „Objektu A“, bylo využito výsledků z již zmiňovaného rozšíření pro MS Excel. Jednotlivé tepelné zisky, jmenovitý výkon chladícího zařízení a typ zařízení, jsou uvedeny v Příloze IX. Tabulka 26 obsahuje výčet použitých chladících zařízení pro „Objekt A“.

Tabulka 26 – Použitá chladicí zařízení v „Objektu A“

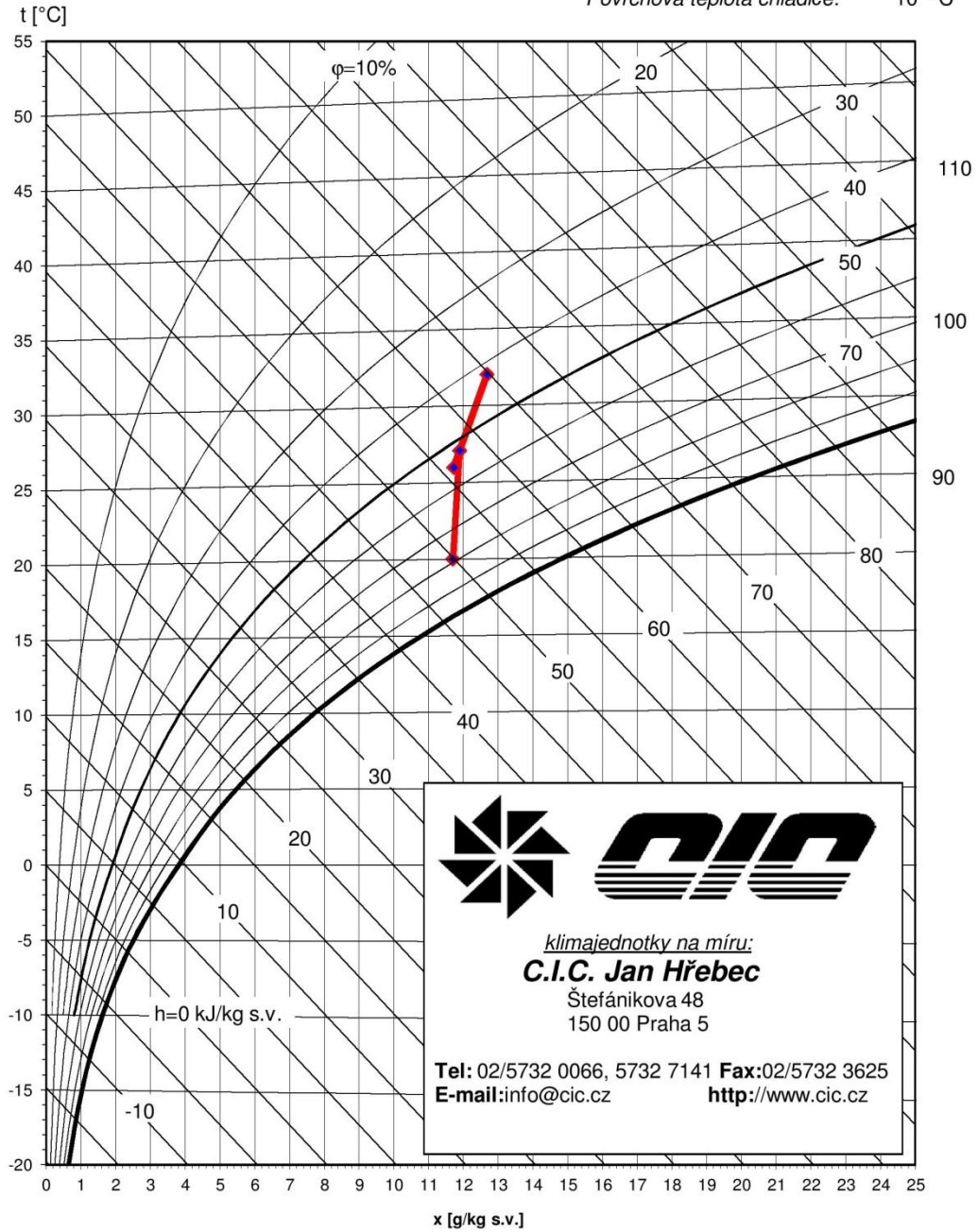
| Typ zařízení | Jmenovitý chladicí výkon Φ_{chlad} [kW] | Počet kusů |
|--------------|---|------------|
| SDV – 28CA | 2,8 | 15 |
| SDV – 36CA | 3,6 | 8 |
| SDV – 45CA | 4,5 | 2 |
| SDV – 71C4A | 7,1 | 1 |

Z tabulky 26, byl také určen potřebný výkon chladicí venkovní jednotky, $\Phi_{celk, chlad} = 86,9$ kW. Celkový chladicí výkon venkovních jednotek je tedy 90 kW. Tohoto výkonu bylo docíleno použitím dvou venkovních chladících jednotek o chladícím výkonu 45 kW.

Pro chlazení „Objektu B2“, bylo navrženo chlazení pomocí vzduchotechniky, výpočet byl opět proveden ručním výpočtem a následně ověřen HX diagramem pro MS Excel [24]. Výpočet pomocí tohoto programu je na obrázku 34. Jako venkovní chladicí jednotka pro „Objekt B2“ byla vybrána jednotka s chladícím výkonem 33,5 kW.

Psychrometrický diagram dle Molliera

Tlak vzduchu: 100 kPa
 Max. vlhkost při úpravách: 100 %
 Povrchová teplota chladiče: 10 °C



| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------|----|-------------------|-------|-------|--------|--------|---|---|---|---|---|----|
| Teplota | t | °C | 32,0 | 26,0 | 27,1 | 20,0 | | | | | | |
| rel. vlhkost | φ | % | 42% | 55% | 52% | 79% | | | | | | |
| měr. vlhkost | x | g/kg s.v. | 12,7 | 11,7 | 11,9 | 11,7 | | | | | | |
| entalpie | h | kJ/kg s.v. | 64,8 | 56,1 | 57,7 | 49,9 | | | | | | |
| hustota | ρ | kg/m ³ | 1,13 | 1,16 | 1,15 | 1,18 | | | | | | |
| t. vlhkého tepl. | tv | °C | -12,4 | -0,9 | 14,4 | 11,7 | | | | | | |
| Skut. průtok | Vs | m ³ /h | 2 147 | 9 563 | 11 710 | 11 430 | | | | | | |
| Norm. průtok | Vn | m ³ /h | 2 002 | 9 108 | 11 110 | 11 110 | | | | | | |
| Předaný výkon | P | kW | | | | -28,9 | | | | | | |
| Odpařené vody | qw | kg/h | | | 0,0 | -2,6 | | | | | | |

Obrázek 34 – Výpočet chladicího výkonu pro „Objekt B2“

11 VYUŽITÍ FOTOVOLTAICKÝCH KOLEKTORŮ

U vybraného objektu bylo s ohledem na jeho orientaci uvažováno o využití FV panelů. Před samotnou instalací bylo však nejprve potřebné určit předpokládanou dobu návratnosti investice. Pro správný návrh FV systému je nutné znát množství dopadající sluneční energie, azimut, úhel náklonu FV panelu a účinnost panelu.

U návrhu FV systémů umístěných na střeších objektů je také vhodné ověřit, zda je střecha konstruována na hmotnost navrhovaného FV systému. Toto posouzení by měl provádět odborník na statiku, aby se předešlo nežádoucím škodám při výstavbě nebo provozu FV systému.

Po průzkumu trhu byly zvoleny FV panely s nominálním výkonem 280 Wp a účinností až 16 %. Panely budou umístěny na střechu „Objektu A“ i „Objektu B1a“. Tyto střechu pokryje celkem 135 panelů a rozloze 259 m². Celkový výkon těchto panelů je 37,8 kWp. Pro systém bude využit tří fázový invertor pro maximální výkon FV systému 39 kW. Zapojení bude provedeno pro spotřebu vyrobené elektrické energie přímo v objektu ICT.

Tabulka 27 – Charakteristika FV systému

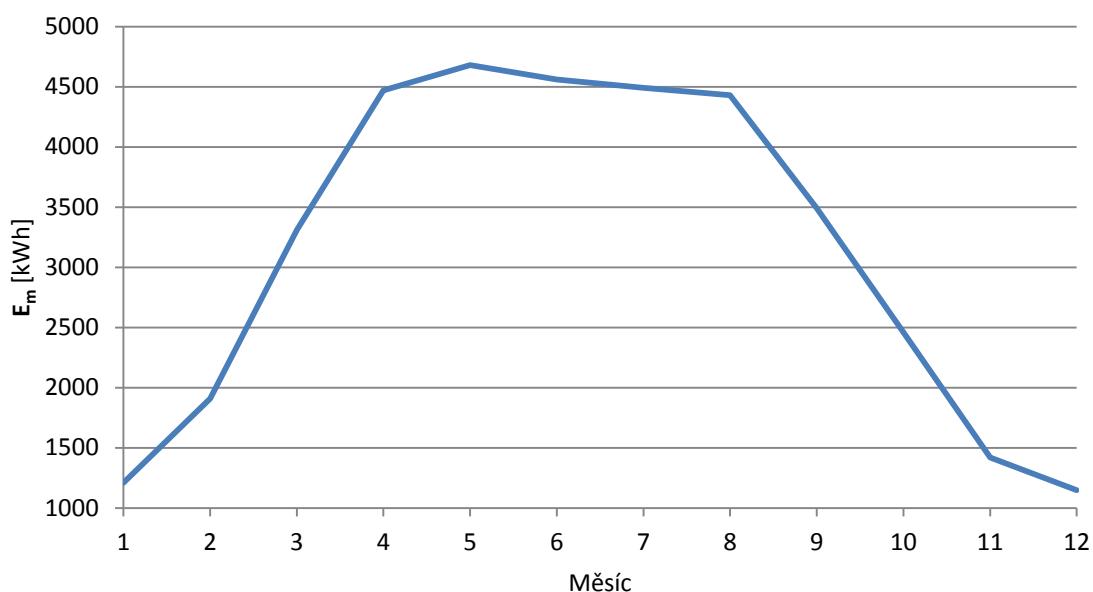
| | |
|---|-----------------------------------|
| Nadmořská výška | 236 m. n. m. |
| Technologie FV systému | Multikrystalický křemíkový článek |
| Sklon panelu | 35 ° |
| Azimut panelu | jih |
| Odhadované ztráty důsledkem nízké teploty a ozáření | 12,0 % |
| Odhadované ztráty vlivem úhlové odrazivosti | 2,9 % |
| Ostatní ztráty | 9,8 % |
| Kombinovaná ztráta FV systému | 22,9 % |

Pro výpočet průměrné denní a měsíční produkce elektrické energie a pro určení průměrné denní a roční intenzity slunečního zařízení byla použita webová aplikace Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps. [26] Tyto hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 28. Grafický vývoj průměrné měsíční produkce elektrické energie je znázorněn na obrázku 35.

Tabulka 28 – Hodnoty průměrné denní a měsíční produkce elektrické energie a hodnoty průměrné denní a roční intenzity slunečního záření

| Pevný systém: sklon = 35°, azimut = -1° | | | | |
|---|----------------|----------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Měsíc | E_d [kWh] | E_m [kWh] | H_d [kWh/m ²] | H_m [kWh/m ²] |
| Leden | 68,40 | 1910 | 2,15 | 60,3 |
| Únor | 107,00 | 3310 | 3,50 | 109,0 |
| Březen | 149,00 | 4470 | 5,13 | 154,0 |
| Duben | 151,00 | 4680 | 5,36 | 166,0 |
| Květen | 152,00 | 4560 | 5,47 | 164,0 |
| Červen | 145,00 | 4490 | 5,25 | 163,0 |
| Červenec | 143,00 | 4430 | 5,15 | 160,0 |
| Srpen | 116,00 | 3490 | 4,30 | 121,0 |
| Září | 79,50 | 2460 | 2,65 | 82,1 |
| Říjen | 47,50 | 1420 | 1,50 | 45,1 |
| Listopad | 37,10 | 1150 | 1,14 | 35,5 |
| Prosinec | 68,40 | 1910 | 2,15 | 60,3 |
| Roční průměr | 103 | 3130 | 3,55 | 108,0 |
| Celkem za rok | 37600 | | 1300 | |

- kde E_d je průměrná denní produkce elektrické energie v [kWh],
 E_m průměrná měsíční produkce elektrické energie v [kWh],
 H_d průměrná denní intenzita slunečního záření v [kWh/m²],
 H_m průměrná roční intenzita slunečního záření v [kWh/m²].



Obrázek 35 – Vývoj průměrné měsíční produkce elektrické energie

11.1 Ekonomické zhodnocení fotovoltaického systému

Nedílnou součástí návrhu FV systému je i jeho ekonomické zhodnocení neboli doba návratnosti investice. Pro tento výpočet je potřeba znát několik údajů a to celkové investiční náklady na FV systém, předpokládané množství vyprodukované elektrické energie, a v tomto případě, kdy se vyrobená elektrická energie spotřebuje přímo v objektu je potřeba znát nákupní cenu elektrické energie.

Tabulka 29 – Investiční náklady FV systému

| Část systému | Cena (20% DPH) |
|---------------------------------------|----------------|
| FV panely | 1 020 600 Kč |
| Měnič | 147 309 Kč |
| Kabelové rozvody, konstrukce a montáž | 340 200 Kč |

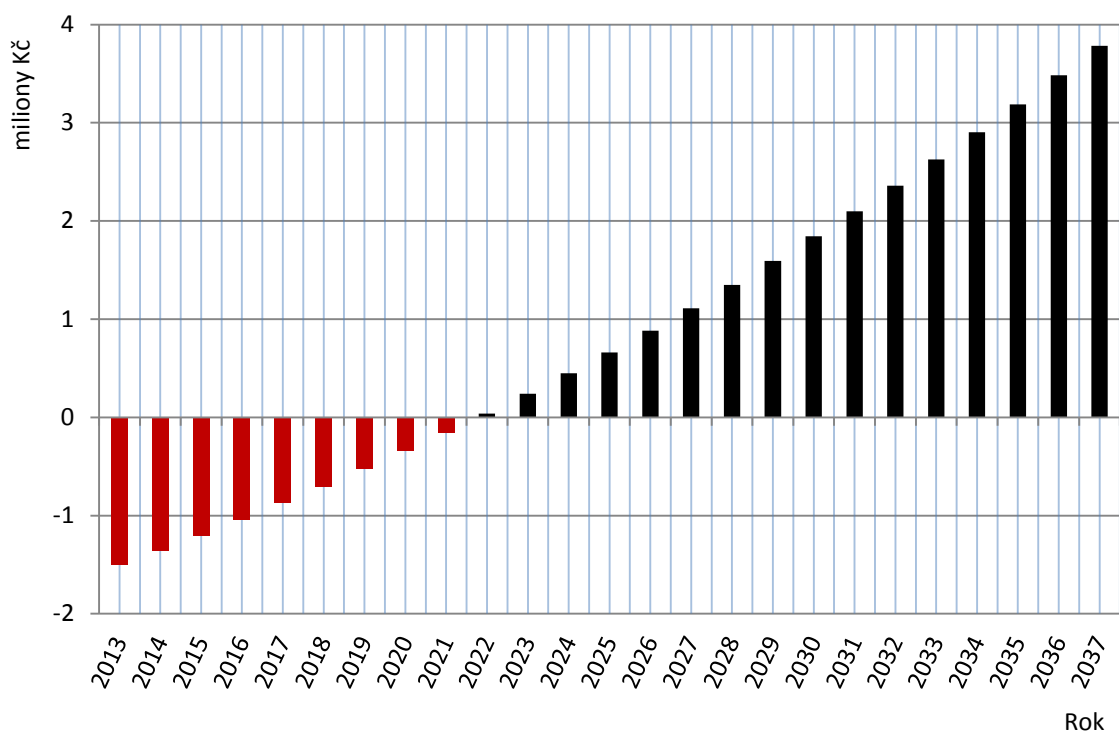
Celkové investiční náklady FV systému činí 1 508 109 Kč a vypočtený roční zisk elektrické energie činí 37,6 kWh/rok. Je nutné také zohlednit klesající účinnost FV systémů, výrobce garantuje 90 % původního výkonu po patnácti letech a 80 % výkonu po dvaceti pěti letech.

Dalším nutným parametrem pro výpočet návratnosti FV systému je aktuální cena elektrické energie. Vzhledem k tomu že se jedná o systém, který nedodává elektrickou energii do distribuční sítě, je potřeba znát nejen nákupní cenu energie, ale je třeba také zohlednit nárůst cen elektrické energie. Pro výpočet byl uvažován nárůst cen elektrické

energie o 4 %/rok. Z tabulky 30 je patrné, že investiční náklady budou úsporami na spotřebě elektrické energie vráceny během devátého roku provozu elektrárny.

Tabulka 30 – Výpočet předpokládaného výnosu fotovovoltaického systému

| Rok [–] | Let [–] | Zisk energie [kWh] | Cena elektřiny [Kč/kWh] | Úspora na odběru [Kč] | Bilance investice [Kč] |
|------------|------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 2013 | 0 | 37 600 | 4,00 | 150 400 | –1 508 109 |
| 2014 | 1 | 37 349 | 4,16 | 155 373 | –1 357 709 |
| 2015 | 2 | 37 099 | 4,33 | 160 504 | –1 202 336 |
| 2016 | 3 | 36 848 | 4,50 | 165 796 | –1 041 832 |
| 2017 | 4 | 36 597 | 4,68 | 171 255 | –876 036 |
| 2018 | 5 | 36 347 | 4,87 | 176 885 | –704 781 |
| 2019 | 6 | 36 096 | 5,06 | 182 692 | –527 896 |
| 2020 | 7 | 35 845 | 5,26 | 188 680 | –345 204 |
| 2021 | 8 | 35 595 | 5,47 | 194 855 | –156 524 |
| 2022 | 9 | 35 344 | 5,69 | 201 222 | 38 331 |
| 2023 | 10 | 35 093 | 5,92 | 207 787 | 239 553 |
| 2024 | 11 | 34 843 | 6,16 | 214 555 | 447 340 |
| 2025 | 12 | 34 592 | 6,40 | 221 532 | 661 894 |
| 2026 | 13 | 34 341 | 6,66 | 228 723 | 883 426 |
| 2027 | 14 | 34 091 | 6,93 | 236 136 | 1 112 149 |
| 2028 | 15 | 33 840 | 7,20 | 243 776 | 1 348 285 |
| 2029 | 16 | 33 589 | 7,49 | 251 649 | 1 592 061 |
| 2030 | 17 | 32 486 | 7,79 | 253 121 | 1 843 710 |
| 2031 | 18 | 32 186 | 8,10 | 260 808 | 2 096 831 |
| 2032 | 19 | 31 885 | 8,43 | 268 706 | 2 357 639 |
| 2033 | 20 | 31 584 | 8,76 | 276 818 | 2 626 345 |
| 2034 | 21 | 31 283 | 9,12 | 285 149 | 2 903 163 |
| 2035 | 22 | 30 982 | 9,48 | 293 703 | 3 188 312 |
| 2036 | 23 | 30 682 | 9,86 | 302 486 | 3 482 015 |
| 2037 | 24 | 30 381 | 10,25 | 311 501 | 3 784 500 |



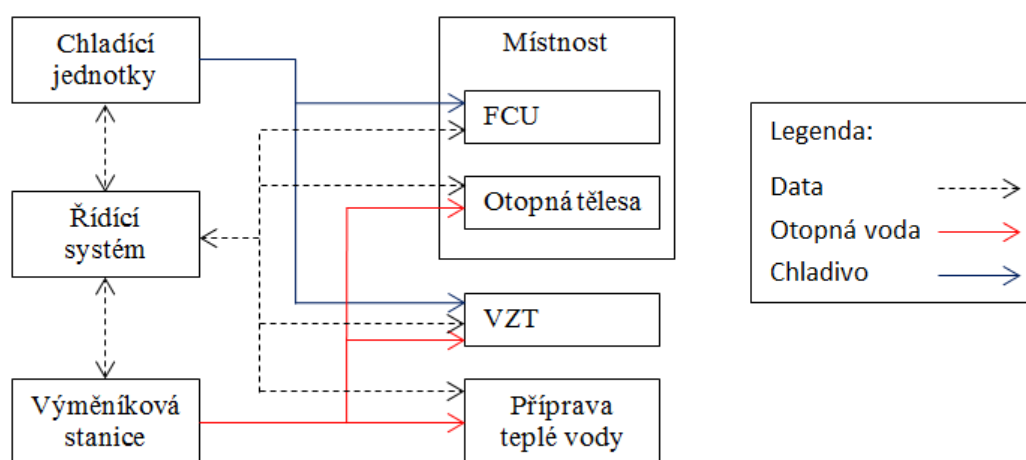
Obrázek 36 – Předpokládaný výnos fotovoltaického systému

12 AUTOMATIZACE BUDOVY

Pro zajištění maximálního komfortu uživatelů objektu se používá řízení systémů v budově. Toto řízení systémů je ekonomicky a energeticky efektivní.

Systémy techniky prostředí jsou vybaveny snímači a akčními členy. Snímače převádí hodnoty stavových veličin na elektrické signály, ty jsou řídicím systémem zpracovány a následně pomocí akčních členů proběhne zásah do systému techniky prostředí.

Pro lepší názornost bylo řízení rozděleno do několika samostatných částí, blokové schéma řízení je na obrázku 37.



Obrázek 37 – Blokové schéma řízení

Každý prostorový celek má snímač teploty a regulační orgán, to znamená, že v každé místnosti je možné regulovat otopná tělesa a FCU jednotky. Okenní plochy jsou vybaveny venkovními roletami. Jejich ovládací prvky jsou také připojeny na sběrnici KNX. Celý systém byl navrhnut jako centrální, z řídicího pracoviště je možné ovládat všechny akční členy. Uživatelé kanceláří mají možnost dané systémy individuálně regulovat.

Centrální regulace byla řešena jednotkou, která je nadřazena všem ostatním regulátorům. Umožňuje řízení několika desítek podřízených regulátorů na sběrnici KNX. Pro centrální regulaci bylo také vytvořeno rozhraní pro dálkové řízení.

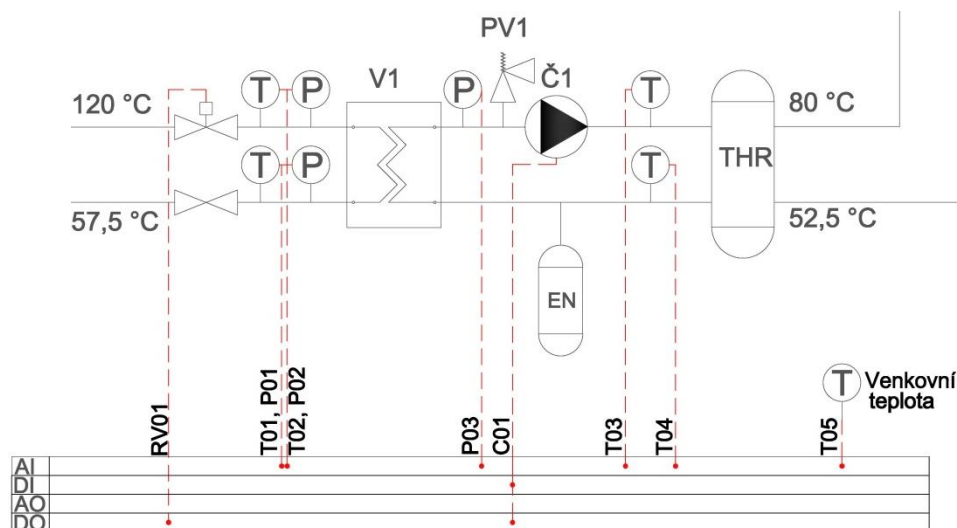
12.1 Řízení vytápění a přípravy teplé vody

Výměňiková stanice zajišťuje dodávku otopné vody pro vytápěcí systémy a pro ohřev teplé vody. Z obrázku 38 je patrné, že regulace výkonu výměníku je zajištěna škrcením na primární straně, více v kapitole 5.4.3.

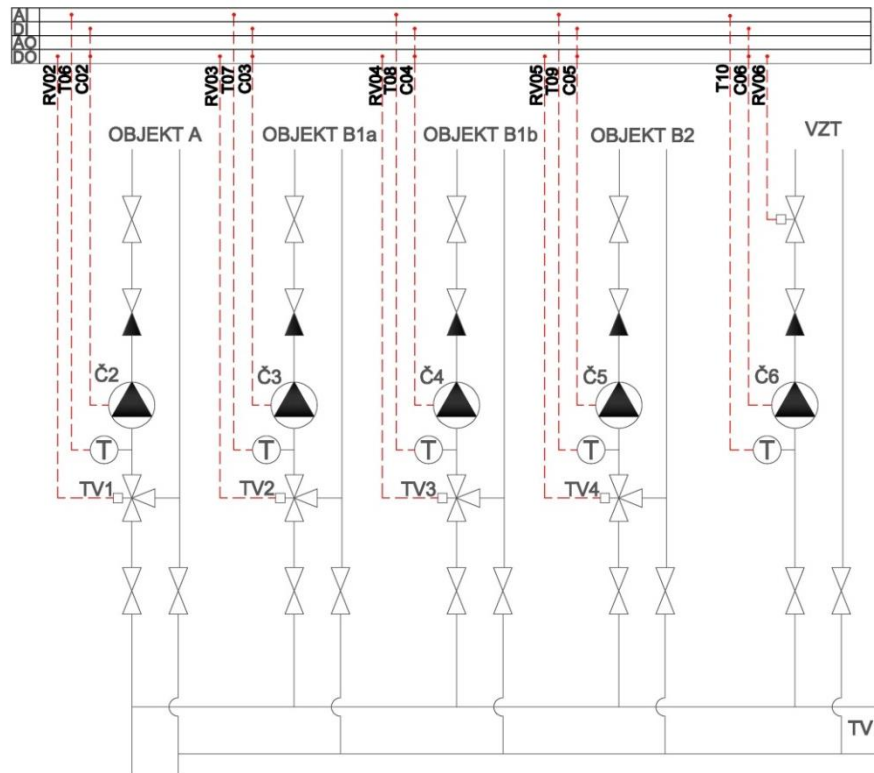
Pro řízení výměníkové stanice byl navržen regulátor, který umožňuje komunikaci po sběrnici KNX.

Další regulátor byl navržen pro otopné okruhy, ty budou řízeny ekvitermní regulací, to znamená v závislosti na venkovní teplotě. Regulace v otopných okruzích je prováděna pomocí trojcestných směšovacích ventilů se servopohony. Trojcestný ventil nám umožňuje regulovat teplotu otopné vody v okruhu směšováním s vodou vratnou z daného okruhu, jedná se tedy o regulaci kvalitativní. Schéma regulace otopných okruhů je patrné z obrázku 39.

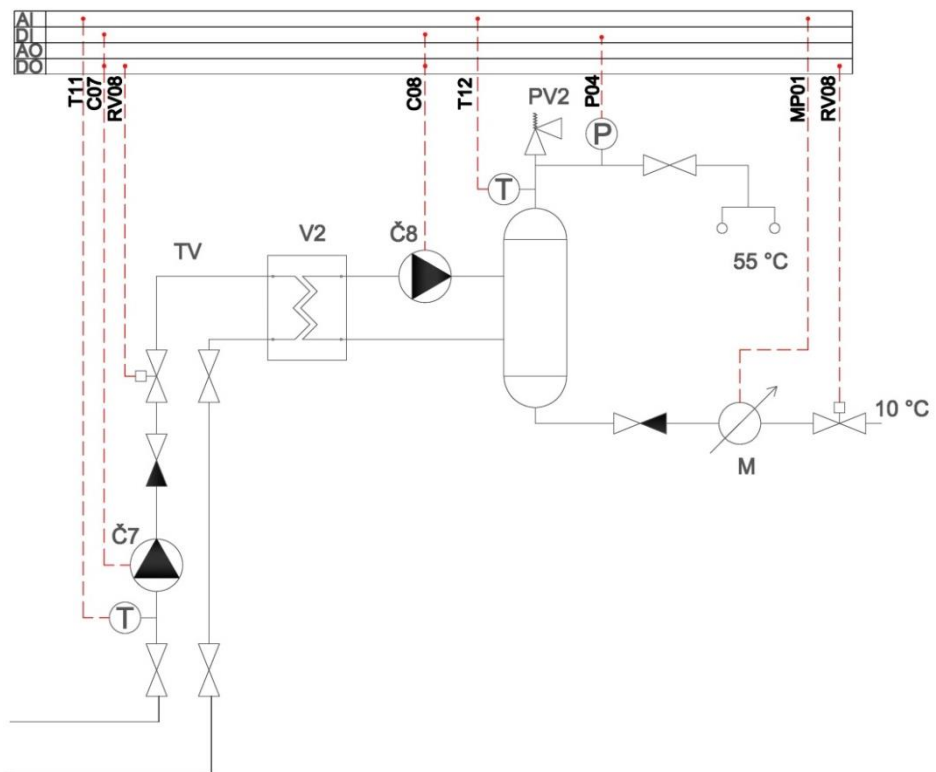
Dalším ovládaným systémem je ohřev teplé vody, ten je zajištěn sekundárním výměníkem na straně otopných okruhů. Výkon tohoto výměníku je opět řízen škrcením na primární straně tohoto výměníku. Řízení je uzpůsobeno tomu, aby bylo umožněno krátkodobé ohřátí vody na 70 °C jako ochranu před bakteriemi.



Obrázek 38 – Schéma regulace výměníkové stanice, část 1



Obrázek 39 – Schéma regulace výměňkové stanice, část 2



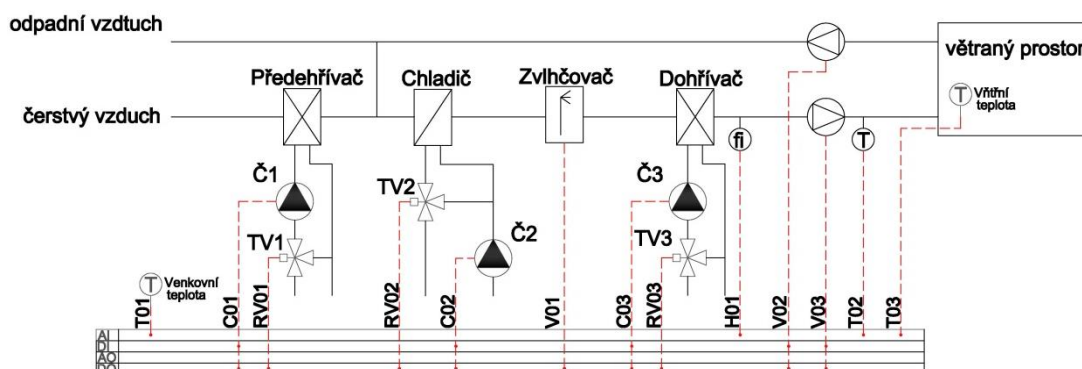
Obrázek 40 – Schéma regulace výměňkové stanice, část 3

Seznam datových vstupů a výstupů podle schémat na obrázcích 38, 39 a 40 je uveden v Příloze X.

12.2 Řízení vzduchotechniky

Řízení vzduchotechniky se uvažuje pouze pro „Objekt B2“, který je větrán vzduchotechnickým zařízením.

V zimním období jsou regulovány přehříváč, zvlhčovač, ohříváč a ventilátory které zajišťují distribuci vzduchu. V době kdy vzduchotechnika není používána v zimním období, musí regulátor zajistit minimální průtok teplé vody ohříváči, aby se předešlo jejich zamrznutí. V letním období je regulován chladič spolu s ventilátory. Chladič je řízen pomocí směšovacího ventilu chladicí látky.



Obrázek 41 – Schéma regulace vzduchotechniky

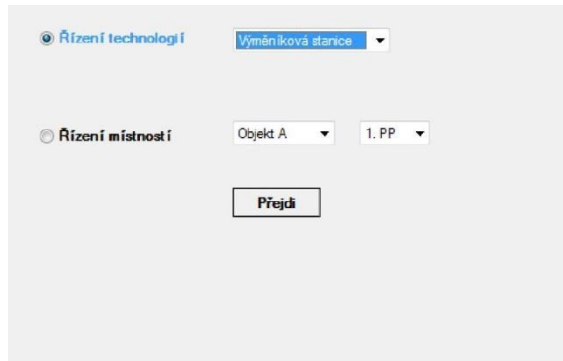
Seznam datových vstupů a výstupů podle schématu na obrázku 41 je uveden v Příloze XI.

12.3 Návrh SCADA systému

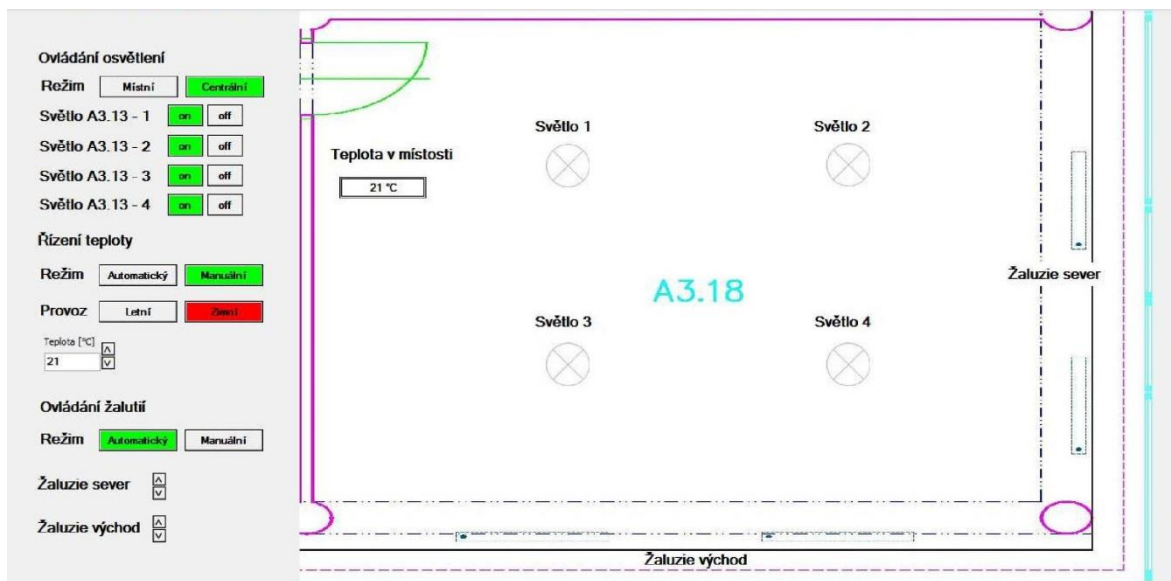
Jedná se o systém, který umožňuje z centrálního pracoviště monitorovat a řídit všechny integrované systémy v daném prostředí.

Pro budovu byl vytvořen návrh grafického systému SCADA v programu Reliance 4, který je v trial verzi volně k dispozici.

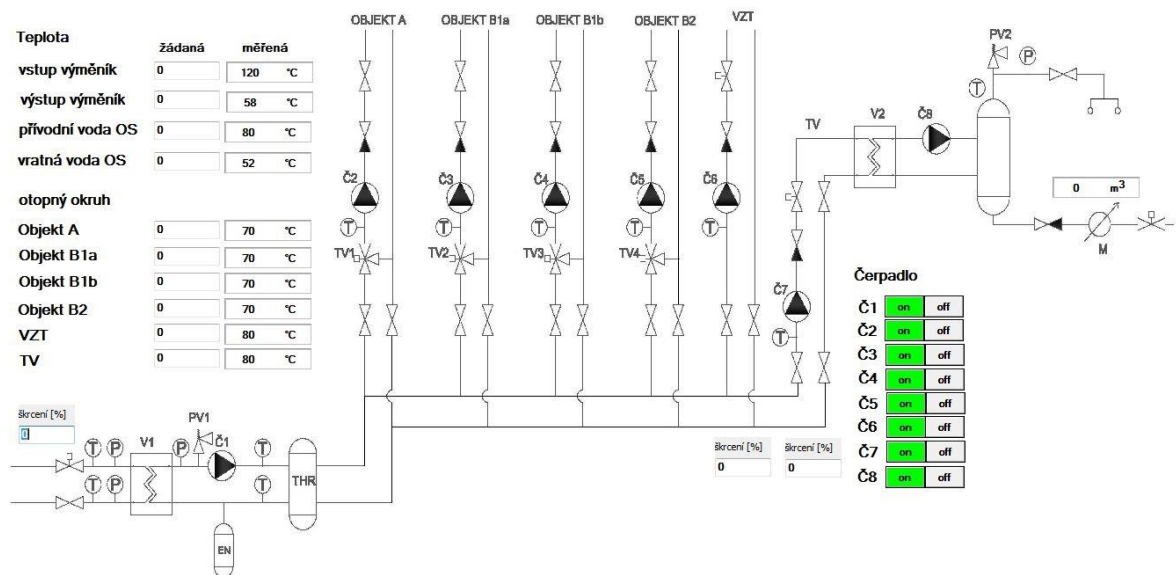
Ukázky z vizualizace jsou na obrázcích 42, 43 a 44. Obrázek 42 je úvodní obrazovkou, která nám umožňuje zvolit část systému, kterou chceme řídit. Na obrázku 43 je znázorněn grafický návrh řízení v jedné místnosti, pro každou místnost je vytvořeno samostatné rozhraní. Na obrázku 44 je znázorněn grafický návrh řízení výměňkové stanice, otopných okruhů a výroby TV.



Obrázek 42 – Úvodní stránka SCADA systému



Obrázek 43 – Ukázka řízení místností



Obrázek 44 – Řízení výměňkové stanice

13 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Nedílnou součástí projektu je i jeho ekonomické zhodnocení. To se provádí jako podklad pro investora, aby měl dostatek informací o projektu a mohl tak rozhodnout, zdali se mu investice vyplatí. Ekonomické hodnocení je také potřebné pro instituce, které projekt nějakou částí financují.

Pro kladné ekonomické hodnocení je nezbytné, aby přínosy zkoumaného systému byly vyšší než součet investičních a provozních nákladů a to za celou dobu životnosti systému. Systémy využívající centrálního řízení s komunikací sběrníkovým systémem představují poměrně vysoké investiční náklady. Jejich použitím se nicméně dá výrazně ušetřit na provozních nákladech.

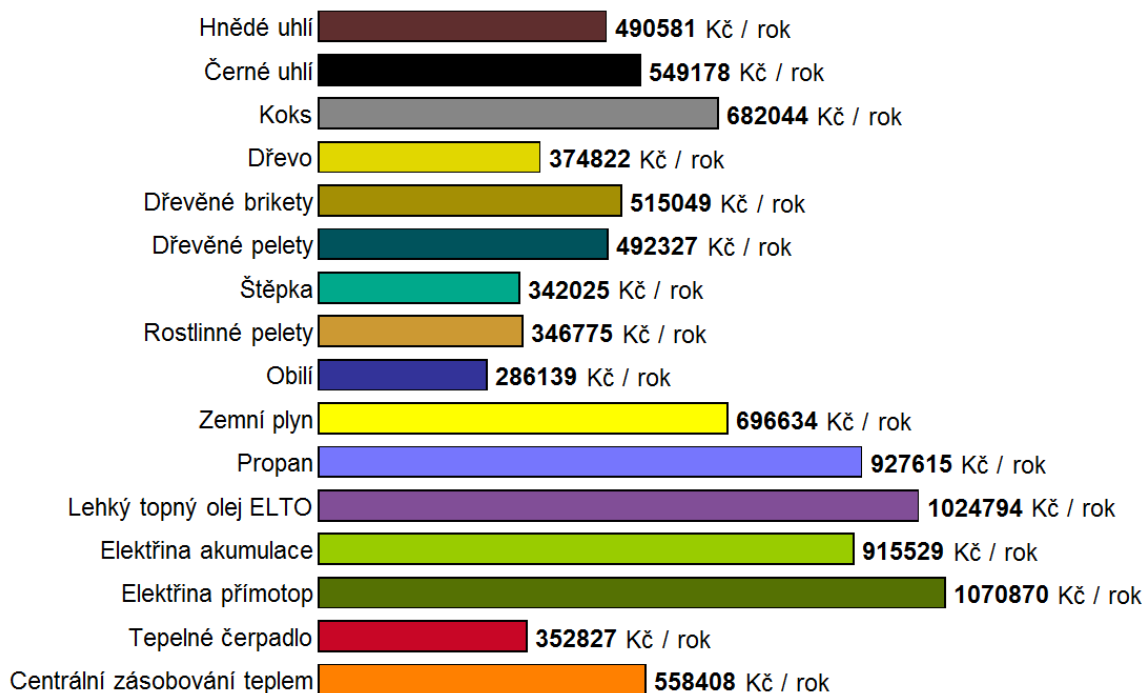
13.1 Náklady na vytápění a ohřev teplé vody

Celkové náklady jsou součtem nákladu na vytápění a ohřev teplé vody. Pro budovu administrativního typu je charakteristické, že spotřeba tepla na vytápění převyšuje spotřebu na přípravu teplé vody. Výpočet byl proveden pomocí webové aplikace portálu tzb-info.cz [27]. Spotřeba tepla pro jednotlivé části a pro celek:

- Spotřeba tepla na vytápění $Q_{VYT} = 380 \text{ MWh/rok} = 1083 \text{ GJ/rok}$
- Spotřeba tepla na ohřev teplé vody $Q_{TV} = 79,2 \text{ MWh/rok} = 285 \text{ GJ/rok}$
- Celková spotřeba tepla $Q_{CELK} = 380 \text{ MWh/rok} = 1368,1 \text{ GJ/rok}$

Pro zvolené centrální zásobování teplem s předpokládanou účinností 98 % je spotřeba tepla 1396 GJ. Cena za spotřebované teplo, při ceně 400 Kč/GJ, je 558 408 Kč.

Pro porovnání umožňuje webová aplikace grafické znázornění nákladů na spotřebu tepla podle druhu paliva a zdroje tepla. Z obrázku 45 je patrné, že nejlevnějším zdrojem tepla by byla spalovna obilí. Je ovšem nutné si uvědomit, že se jedná pouze o náklady spojené se spotřebou paliva, které nezohledňují počáteční investice na pořízení technologií pro toto palivo.



Obrázek 45 – Náklady na spotřebu tepla při různých druzích paliva a zdrojích tepla

13.2 Investiční náklady

Jedná se o náklady představující jednorázové výdaje, které jsou třeba na vybudování jednotlivých systémů. Ceny jsou zaokrouhleny na tisíce. Důvodem tohoto zaokrouhlení jsou neúplné podklady potřebného materiálu. U známých zařízení byly brány ceny internetových prodejců těchto systémů.

Tabulka 31 – Investiční náklady systémů v budově ICT

| System | Cena v Kč |
|--|-----------|
| Výměníková stanice, s distribucí tepla (mimo TV) | 600 000 |
| Radiátory RADIK | 660 000 |
| FCU jednotky, chladiče | 2 500 000 |
| VZT | 105 000 |
| Příprava TV | 89 000 |
| Řídící prvky, KNX systémy | 3 500 000 |
| Celkem | 7 454 000 |

13.3 Ekonomické zhodnocení projektu

Celkové zhodnocení projektu nebylo provedeno, důvodem byly chybějící podklady pro toto hodnocení, myslí se tím, že nejsou známy údaje o výdajích na stavbu samotnou, na elektrické rozvody v budově a další záležitosti.

Zhodnocení bylo provedeno pouze u možnosti využití obnovitelných zdrojů, FV systému.

Ekonomické zhodnocení centrálního řídicího systému a KNX systému nebylo možné vyhodnotit, důvodem jsou chybějící údaje o spotřebě elektrické energie na provoz těchto systémů. Jako přínos těchto systémů se tedy musí brát tvrzení výrobců, že centrální řízení umožňuje úspory až 25 % na náklady vytápění. Výhodami těchto systémů jsou i komfort pracovníků v kancelářích a možnost dálkového řízení. Tyto přínosy ale nejsou ekonomicky měřitelné, takže se pro ekonomické zhodnocení neberou v potaz.

13.3.1 Fotovoltaický systém

Podrobný popis tohoto systému je v kapitole 11. Celkové náklady na vybudování tohoto systému byly vyčísleny na 1 508 000 Kč. Kapitola 11.1 pak zkoumá návratnost tohoto systému, která byla určena na devátý rok provozu elektrárny. Elektrárna byla navržena jako hybridní systém bez možnosti prodeje přebytečné energie do distribuční sítě, elektrická energie bude spotřebována nepřetržitou spotřebou v budově ICT. Podrobná návratnost investičních nákladů na FV systém je v tabulce 30 v kapitole zabývající se tímto systémem. Pro hodnocení tohoto systému bylo předpokládáno nárůstu cen elektrické energie i degenerace FV panelů.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout systém sloužící pro tvorbu vnitřního mikroklimatu včetně jejich řídicích a ovládacích systémů pro budovu administrativního typu.

První část diplomové práce je zaměřena na teoretický popis problematiky návrhu systému. První kapitola je zaměřena na popis administrativních budov, ve stručnosti popisuje jejich vývoj a některé normativní požadavky na administrativní budovy. Druhá kapitola popisuje prostředí a to vnitřní i vnější, jsou také popsány škodliviny v ovzduší a jeho hodnocení. V kapitole třetí jsou popsány tepelně technické vlastnosti budov podle normy ČSN 73 0450 – 2 [7], blíže jsou rozepsány parametry jako šíření tepla konstrukcí, šíření vlhkosti konstrukcí a tepelná stabilita. V této kapitole jsou také popsány tepelné ztráty budovy a její tepelné zisky, každá kapitola vždy podle příslušné normy. V kapitole čtvrté jsou popsány druhy větrání. Kapitola pátá se zabývá popisem systému v technice prostředí, nejprve jsou popsány rozvody vzduchu. V další části této kapitoly je popsáno vytápění s postupem hydraulického výpočtu potrubní sítě. Tato kapitola jako další popisuje návrh spotřeby teplé vody podle normy ČSN 06 0320 [17]. V předposlední podkapitole tohoto bloku je probrán obecný popis zvoleného zdroje tepla, výměňkové stanice. Poslední podkapitolou je pak popis pojistných zařízení. Další kapitola se zabývá fotovoltaickým systémem. Poslední kapitola teoretické části je věnována automatizaci budovy, kde je popsána zadaná komunikační sběrnice KNX.

Na začátku praktické části je popsán zvolený objekt a jemu příslušné okrajové podmínky.

Ve druhé kapitole praktické části jsou řešeny tepelné vlastnosti budovy, byl určen průměrný součinitel prostupu tepla a poté i energetická náročnost budovy. Pro obvodové konstrukce nebylo nutné navrhovat změnu tepelně izolačních vlastností. Všechny konstrukce vyhovovali i z hlediska kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce.

Po výpočtu tepelné stability pro zimní a letní období byl v další kapitole navržen systém tvorby mikroklimatu. Nejprve byla řešena spotřeba tepla, musely se tedy nejprve vypočítat dílčí potřeby pro vytápění, vzduchotechniku a ohřev teplé vody. Jako primární zdroj tepla byl určen výměník o přípojném výkonu $\Phi_{PRIP} = 220 \text{ kW}$. Po dokončení výpočtů týkajících se vytápění byly určeny chladicí jednotky v jednotlivých kancelářích.

Další kapitola praktické části popisuje pro vybraný objekt návrh fotovoltaického systému. Byla určena plocha těchto panelů a celkový výkon tohoto systému. Závěrem této kapitoly

je zhodnocena ekonomická návratnost tohoto systému. Toto zhodnocení určilo, že investice do fotovoltaického systému se navrátí během devátého roku užívání systému.

Po dokončení výpočtů systémů pro tvorbu mikroklimatu a ostatních systémů bylo navrženo řízení těchto systémů pomocí regulátorů, které podporují komunikaci prostřednictvím sběrnice KNX. Pro takto navržený systém byl vytvořen návrh SCADA systému pro dálkové řízení.

Poslední kapitola praktické části se zabývá technicko-ekonomickým hodnocením. Nejprve byly vyčísleny předpokládané náklady na vytápění budovy a porovnány s náklady jiných druhů paliv. Je uveden i odhad nákladů na vybudování těchto systémů. Na konci této kapitoly je shrnuto ekonomické hodnocení fotovoltaického systému.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of this work was to design a HAVAC system including their management and control systems for administrative building type.

The first part of this thesis focuses on the theoretical description of the problems of system design. The first chapter focuses on the description of the administrative building, briefly describe their evolution and some of normative requirements for administrative buildings. The second chapter describes the internal and external environment, also are described pollutants in the air, and its evaluation. In the third chapter are described thermal properties of buildings according to ČSN 73 0450-2 [7], closer parameters are described as heat transfer structures, spreading moisture structure and thermal stability. This chapter also describes the building's heat loss and the heat gains, each chapter always according to standard. In fourth chapter are described types of ventilation. The fifth chapter describes system of environment in the technique, first are described air ducts. The next section of this chapter describes heating systems with a process of hydraulic pipe network calculation. This chapter also describes design hot water consumption according to CSN 06 0320 [17]. In the penultimate subsection of this block is discussed selected source heat, the heat exchanger station. The last subchapter is the description of the safety devices. The next chapter deals with the photovoltaic system. Last chapter is related to building automation, where is described the specified KNX control system.

At the beginning of the practical part describes the selected object and its appropriate boundary conditions.

In the second chapter, the practical parts are the thermal characteristics of the building, has been designated average heat transfer coefficient and then the energy performance of the building. For circuit structure is not necessary to propose amendments thermal insulation properties. All construction suits to condensation of water vapor inside the structure.

After calculating the thermal stability for winter and summer was in the next chapter designed a system for creating microclimates. First was dealt with heat consumption, first had to be calculate the partial requirements for heating systems, ventilation and hot water. As a primary source of heat was designed the heat exchanger station with the connection performance $\Phi_{PRIP} = 220$ kW. After completion of calculations related to heating systems were determined cooling units in individual offices.

The next chapter in the practical part for selected object is describes photovoltaic system. Has been calculated area of these panels and has been calculated the overall performance of this system. The conclusion of this chapter is analysis of economic return of this system. This assessment has identified that investment in a photovoltaic system of will return in the ninth year use of the system.

When the calculation for creation system of microclimate has been complete and other systems has been complete, proposed management of these systems with controllers that support communication via KNX. For such a designed system was created draft SCADA system for remote control.

The last chapter of practical part deals with the technical and economic evaluation. They were first calculated the estimated cost of heat the building and compared with the cost of other fuels. Is given an estimate the construction costs of these systems. At the end of this chapter is summarized economic evaluation of the photovoltaic system.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN 735305. Administrativní budovy a prostory. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [2] ŠTÍPEK, Jan. Administrativní budovy. 1. vyd. Praha: ČVUT, 2001, 51 s. ISBN 80-010-2422-9.
- [3] NOVÝ, Richard. Technika prostředí. Vyd. 2., přeprac. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2006, 267 s. ISBN 80-010-3492-5.
- [4] TZB-info: Modelování operativní teploty. TZB-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. 15.11.2004 [cit. 2013-03-12]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1422-modelovani-operativni-teploty>
- [5] Česká republika. Nařízení vlády, kterým se stanoví imisní limity a podmínky a způsob sledování, posuzování, hodnocení a řízení kvality ovzduší. In: 127/2002 Sb. 14.08.2002, 350/2002 Sb. Dostupné z: <http://www-1.sysnet.cz/projects/env.web/zakon.nsf/2950090f3855381ac1256376006821d8/68f7102eb17da235c>
- [6] TZB-info: Vládní nařízení č. 178/2001 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci. TZB-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. 12.10.2001 [cit. 2013-03-13]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/692-vladni-narizeni-c-178-2001-sb-kterym-se-stanovi-podminky-ochrany-zdravi-zamestnancu-pri-praci>
- [7] ČSN 73 0540 - 2. Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2011.
- [8] ČSN EN 12 831. Tepelné soustavy v budovách: Výpočet tepelného výkonu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2005.
- [9] ČSN 73 0548. Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1986.
- [10] Nucené větrání budov. Panelové domy [online]. 2013 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://panelovedomy.ekowatt.cz/vetrani/26-nucene-vetrani-budov>
- [11] Fotovoltaika - princip. *ENERG SERVIS* [online]. © 2005-2009 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.energyservis.cz/cs/fotovoltaika/fotovoltaika-princip/>

- [12] QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 296 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [13] Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny. CNE Czech Nature Energy, a. s. [online]. 2013, 14.05.2013 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaiicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [14] FOTOVOLTAIKA. Tzb-energ [online]. 2012 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-energ.cz/fotovoltaika.html>
- [15] MERZ, Hermann, Thomas HANSEMANN a Christof HÜBNER. Automatizované systémy budov: sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 261 s. ISBN 978-80-247-2367-9.
- [16] BAŠTA, Jiří a Karel KABELE. Otopné soustavy - teplovodní. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 1998, 77 s. Sešit projektanta - pracovní podklady (Společnost pro techniku prostředí). ISBN 80-020-1254-2.
- [17] ČSN 06 0320. Tepelné soustavy v budovách: Příprava teplé vody - Navrhování a projektování. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [18] Předávací stanice tepla ve vodních soustavách CZT (I). *TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. 12.5.2008 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4848-predavaci-stance-tepla-ve-vodnich-soustavach-czt-i>
- [19] BAŠTA, Jiří. Topenářská příručka: 120 let topenářství v Čechách a na Moravě. 1. vyd. Praha: GAS, 2001, 2395 s. ISBN 80-86176-82-71.
- [20] ČSN 06 0310. Tepelné soustavy v budovách: Projektování a montáž. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [21] ČSN 06 0830. *Tepelné soustavy v budovách: Zabezpečovací zařízení*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [22] LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. Výpočtové tabulky pro vytápění: vztahy a pomůcky. 1. vyd. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2001, 208 s. Sešit projektanta - pracovní podklady (Společnost pro techniku prostředí). ISBN 80-020-1466-9.
- [23] RADIK KLASIK - deskové otopné těleso - KORADO, a.s. Topení, vytápění a radiátory - KORADO, a.s. [online]. 2012 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://www.korado.cz/cs/vyrobky/radik/prehled_modelu/radik_klasik/

- [24] C.I.C. Jan Hřebec - Vzduchotechnika a klimatizace - Ke stažení. *C.I.C. Jan Hřebec - Vzduchotechnika a klimatizace - Úvodní stránka* [online]. 2008 [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: <http://cic.cz/www/ke-stazeni/>
- [25] Vlastnosti pojistných ventilů používaných v topenářství. TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. 2.1.2001 [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/426-vlastnosti-pojistnych-ventilu-pouzivanych-v-topenarstvi>
- [26] PV potential estimation utility [online]. 2011 [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [27] Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody - TZB-info. TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. 14.2.2003 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [28] ČSN EN ISO 7730. Ergonomie tepelného prostředí: Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [29] ČSN 73 0540. Tepelná ochrana budov: Část 3: Návrhové hodnoty veličin. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [30] ČSN 73 0540. Tepelná ochrana budov: Část 4: Výpočtové metody. Praha: Český normalizační institut, 2005.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|-------|--|
| 1. NP | První nadzemní podlaží |
| 1. PP | První podzemní podlaží |
| 2. NP | Druhé nadzemní podlaží |
| 3. NP | Třetí nadzemní podlaží |
| AC | Střídavé napětí |
| ACK | Pozitivní potvrzení |
| BUSY | Negativní potvrzení |
| ČR | Česká republika |
| ČSN | Česká technická norma |
| DC | Stejnoseměrné napětí |
| EIB | European Installation Bus |
| EN | Evropská norma |
| ETS | Engineering Tool Software |
| FCU | Fan Coil Unit |
| FV | Fotovoltaika |
| ISO | International Organization for Standardization |
| KNX | Sběrnice |
| LSB | Least Significant Bit |
| MSB | Most Significant Bit |
| NACK | Negativní potvrzení |
| REG | Regulátor |
| SCADA | Supervisory Control And Data Acquisition |
| THR | Termohydraulický rozdělovač |
| TL. | Tloušťka |
| TV | Teplá voda |
| UART | Universal Asynchronous Receiver/Transmitter |
| VZT | Vzduchotechnika |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 – Vývoj průměrných hodnot teploty pro město Zlín..... | 18 |
| Obrázek 2 – Vývoj průměrných hodnot Relativní vlhkosti a parciálního tlaku pro město Zlín..... | 19 |
| Obrázek 3 – Šíření vlhkostí konstrukcí – bez kondenzace | 26 |
| Obrázek 4 – Šíření vlhkostí konstrukcí – s kondenzací..... | 26 |
| Obrázek 5 – Schéma aerace [3, s. 68]..... | 36 |
| Obrázek 6 – Vertikální průběh teploty vzduchu v místnosti s otopným tělesem pod oknem, teploty podle rovnice 5.6 [3, s. 186]..... | 43 |
| Obrázek 7 – Dvoutrubková a jednorubková otopná soustava [16, s. 8] | 45 |
| Obrázek 8 – Příklad dodávky a odběru tepla při ohřevu se zásobníkem | 51 |
| Obrázek 9 – princip činnosti deskového výměníku, 1 – ohřívací látka; 2 – ohřívaná látka [19, s. 954]..... | 53 |
| Obrázek 10 – Princip činnosti protiproudého výměníku s průběhem teplot [19, s. 938]..... | 54 |
| Obrázek 11 – Regulace výkonu výměníku škrcením na primární straně | 55 |
| Obrázek 12 – Regulace výkonu výměníku směřováním na sekundární straně | 55 |
| Obrázek 13 – Paralelní řazení výměníků [19, s. 941]..... | 55 |
| Obrázek 14 – Sériové řazení výměníků [19, s. 941]..... | 56 |
| Obrázek 15 – Konstrukce fotovoltaického panelu [11]..... | 60 |
| Obrázek 16 – Schéma spotřebitelského systému [14] | 60 |
| Obrázek 17 – schéma hybridního systému [14]..... | 61 |
| Obrázek 18 – Schéma distribučního systému [14] | 61 |
| Obrázek 19 – Schéma ostrovního systému | 61 |
| Obrázek 20 – Informatické zasíťování zařízení [15, s. 52]..... | 62 |
| Obrázek 21 – Stromová topologie KNX/EIB [15, s. 67]..... | 64 |
| Obrázek 22 – Přehled postupu vysílání v protokolu CSMA/CA [15, s. 83]..... | 66 |
| Obrázek 23 – Rozdělení ICT na objekty s orientací objektu. | 69 |
| Obrázek 24 – Schéma vytápěcího systému | 77 |
| Obrázek 25 – Zjednodušené schéma soustavy otopných těles | 79 |
| Obrázek 26 – Charakteristika čerpadla Wilo-Stratos 32/1-10..... | 81 |
| Obrázek 27 – Výpočet teplovzdušného vytápění pomocí programu HX diagramem pro MS Excel [24] | 82 |

| | |
|---|-----|
| Obrázek 28 – Charakteristika čerpadla Wilo-Stratos 25/1-6..... | 83 |
| Obrázek 29 – Návrh spotřeby a dodávky teplé vody..... | 84 |
| Obrázek 30 – Charakteristika čerpadla Wilo-Stratos 30/1-4..... | 85 |
| Obrázek 31 – Navrhovaný THR..... | 86 |
| Obrázek 32 – Charakteristika čerpadla Wilo-Stratos 50/1-8..... | 87 |
| Obrázek 33 – Průběh tlaků u pojistného ventilu [25]..... | 88 |
| Obrázek 34 – Výpočet chladicího výkonu pro „Objekt B2“..... | 91 |
| Obrázek 35 – Vývoj průměrné měsíční produkce elektrické energie..... | 94 |
| Obrázek 36 – Předpokládaný výnos fotovoltaického systému..... | 96 |
| Obrázek 37 – Blokové schéma řízení..... | 97 |
| Obrázek 38 – Schéma regulace výměňkové stanice, část 1..... | 98 |
| Obrázek 39 – Schéma regulace výměňkové stanice, část 2..... | 99 |
| Obrázek 40 – Schéma regulace výměňkové stanice, část 3..... | 99 |
| Obrázek 41 – Schéma regulace vzduchotechniky..... | 100 |
| Obrázek 42 – Úvodní stránka SCADA systému..... | 101 |
| Obrázek 43 – Ukázka řízení místností..... | 101 |
| Obrázek 44 – Řízení výměňkové stanice..... | 101 |
| Obrázek 45 – Náklady na spotřebu tepla při různých druzích paliva a zdrojích tepla..... | 103 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| Tabulka 1 – Plochy kancelářských pracovišť [1, s. 8]..... | 15 |
| Tabulka 2 – Závislost koeficientu A na rychlosti proudění vzduchu [4]..... | 17 |
| Tabulka 3 – přiřazené subjektivní údaje k číselným hodnotám PMV podle ČSN EN ISO 7730 [3, s. 25] | 17 |
| Tabulka 4 – Rozměry prachových částic některých prachů [3, s. 30] | 20 |
| Tabulka 5 – Imisní limity některých znečišťujících látek v ČR [5] | 21 |
| Tabulka 6 – Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro vybrané konstrukce s převažující návrhovou vnitřní teplotou θ_{im} v intervalu 18 °C až 22 °C včetně [7, s. 13]..... | 24 |
| Tabulka 7 – Požadované hodnoty průměrného součinitele tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou θ_{im} v intervalu 18°C až 22°C včetně [7, s. 13]..... | 25 |
| Tabulka 8 – Hodnoty poklesu výsledné teploty v místnosti v zimním období podle normy ČSN 73 0540 – 2 [7, s. 26]..... | 28 |
| Tabulka 9 – Nejvyšší požadované hodnoty denní teploty vzduchu v místnosti v letním období $\theta_{ai, max, N}$ °C | 29 |
| Tabulka 10 – Minimální intenzita výměny vzduchu n_{min} [8, s. 64]..... | 30 |
| Tabulka 11 – Vybrané hodnoty zátopného součinitele f_{RH} pro nebytové budovy s útlumem nejvýše 12h [8, s. 65]..... | 31 |
| Tabulka 12 – Obsah tří možných případů zpětného hlášení [14, 90] | 65 |
| Tabulka 13 – Priority [14, s. 85] | 67 |
| Tabulka 14 – Okrajové podmínky objektu ICT..... | 69 |
| Tabulka 15 – Použité konstrukce a jejich vypočtené hodnoty pro „Objekt A“ a „Objekt B2“ | 70 |
| Tabulka 16 - Použité konstrukce a jejich vypočtené hodnoty pro „Objekt B2“..... | 71 |
| Tabulka 17 – Použité výplně otvorů | 71 |
| Tabulka 18 – Suma plochy obvodových konstrukcí a měrné ztráty prostupem tepla pro referenční a hodnocenou budovu | 71 |
| Tabulka 19 – Hodnoty vnitřní povrchové teploty a teplotního faktoru požadované normou a vypočítané pro zkoumané konstrukce | 72 |
| Tabulka 20 – Hodnoty z kondenzované vodní páry v konstrukcích..... | 73 |
| Tabulka 21 – Tepelné ztráty jednotlivých objektů | 74 |

| | |
|--|-----|
| Tabulka 22 – Zjednodušený výpis výkonů OT po objektech a patrech..... | 78 |
| Tabulka 23 – Souhrn použitých trojcestných ventilů a čerpadel pro otopné okruhy | 81 |
| Tabulka 24 – Výčet spotřeby teplé vody a spotřeby tepla | 84 |
| Tabulka 25 – Shrnutí potřebných tepelných výkonů | 85 |
| Tabulka 26 – Výčet použitých chladících zařízení v „Objektu A“ | 90 |
| Tabulka 27 – Charakteristika FV systému..... | 92 |
| Tabulka 28 – Hodnoty průměrné denní a měsíční produkce elektrické energie a hodnoty průměrné denní a roční intenzity slunečního | 93 |
| Tabulka 29 – Investiční náklady FV systému..... | 94 |
| Tabulka 30 – Výpočet předpokládaného výnosu fotovoltaiického systému | 95 |
| Tabulka 31 – Investiční náklady systémů v budově ICT..... | 103 |

SEZNAM PŘÍLOH

| | |
|--------------|--|
| Příloha I | Složení konstrukcí „objektu A“ a „haly B2“ |
| Příloha II: | Průměrný součinitel tepla |
| Příloha III | Výpočet tepelných ztrát |
| Příloha IV | Tepelné zisky |
| Příloha V | Rozpis otopných těles pro „Objekt A“ a „Objekt B2“ |
| Příloha VI | Schéma soustavy otopných těles |
| Příloha VII | Půdorys 3. NP se zakreslenou otopnou soustavou |
| Příloha VIII | Výpočet tlakových ztrát „Objekt A“ |
| Příloha IX | Klimatizační jednotky pro „Objekt A“ |
| Příloha X | Seznam datových vstupů a výstupu výměňkové stanice |
| Příloha XI | Seznam datových vstupů a výstupu VZT |

PŘÍLOHA P I: SLOŽENÍ KONSTRUKCÍ „OBJEKTU A“ A „HALY B2“

V této příloze jsou rozepsány jednotlivé stavební konstrukce, které byly využity při výstavbě ICT. Tato příloha obsahuje pouze vstupní hodnoty výpočtů, výsledné výpočty součinitele prostupu tepla, nejnižší povrchové teploty a množství zkondenzované vodní páry jsou uvedeny v praktické části této diplomové práce. Jednotlivé hodnoty materiálů byly získány z programu Teplo 2011 z balíku programů Stavební fyzika. Materiály, které nebyly obsaženy v databázi programu, do něj byly vloženy na základě údajů z materiálů výrobců. Názvy jednotlivých částí konstrukcí, byly kopírovány z protokolu programu Teplo 2011, proto názvy některých částí jsou nepřirozeně zkráceny.

- Konstrukce „Objekt A“

| Sendvičové obvodové zdivo TL. 550 mm | | | | |
|--------------------------------------|----------------|---------|-----------------------|------------------|
| Číslo | Název | D [m] | λ [W/(m · K)] | c [J/(kg · K)] |
| 1 | Baunit Manu 1 | 0,0100 | 0,8300 | 790,0 |
| 2 | Porotherm 30 P | 0,3000 | 0,2500 | 960,0 |
| 3 | Baunit lep, ma | 0,0030 | 0,8000 | 920,0 |
| 4 | Isover Fassil | 0,1400 | 0,0390 | 880,0 |
| 5 | Baunit lep, ma | 0,0030 | 0,8000 | 920,0 |
| 6 | Baunit DuoTop | 0,0030 | 0,7000 | 920,0 |
| 7 | Baunit Manu 1 | 0,0100 | 0,8300 | 790,0 |

| Sendvičové obvodové zdivo TL, 460 mm + železobetonová monolitická ztužující stěna | | | | |
|---|----------------|---------|-----------------------|------------------|
| Číslo | Název | D [m] | λ [W/(m · K)] | c [J/(kg · K)] |
| 1 | Baunit Manu 1 | 0,0100 | 0,8300 | 790,0 |
| 2 | Porotherm 40 P | 0,4000 | 0,1500 | 960,0 |
| 3 | Baunit lep, ma | 0,0030 | 0,8000 | 920,0 |
| 4 | Rigips GreyWal | 0,0500 | 0,0330 | 1270,0 |
| 5 | Baunit lep, ma | 0,0030 | 0,8000 | 920,0 |
| 6 | Železobeton 1 | 0,1500 | 1,4300 | 1020,0 |
| 7 | Baunit Manu 1 | 0,0100 | 0,8300 | 790,0 |

| Sendvičové obvodové zdivo TL. 540 mm | | | | |
|--------------------------------------|----------------|---------|-----------------------|------------------|
| Číslo | Název | D [m] | λ [W/(m · K)] | c [J/(kg · K)] |
| 1 | Baumit Manu 1 | 0,0100 | 0,8300 | 790,0 |
| 2 | Porotherm 24 P | 0,2400 | 0,4100 | 960,0 |
| 3 | Baumit lep, ma | 0,0030 | 0,8000 | 920,0 |
| 4 | Isover Fassil | 0,1600 | 0,0390 | 880,0 |
| 5 | Baumit lep, ma | 0,0030 | 0,8000 | 920,0 |
| 6 | Baumit DuoTop | 0,0030 | 0,7000 | 920,0 |
| 7 | Baumit Manu 1 | 0,0100 | 0,8300 | 790,0 |

| Obvodové zdivo TL. 350 mm | | | | |
|---------------------------|----------------|---------|-----------------------|------------------|
| Číslo | Název | D [m] | λ [W/(m · K)] | c [J/(kg · K)] |
| 1 | Baumit Manu 1 | 0,0030 | 0,8300 | 790,0 |
| 2 | Ytong P2-400 | 0,3000 | 0,1200 | 1000,0 |
| 3 | Baumit lep, ma | 0,0030 | 0,8000 | 920,0 |
| 4 | Isover Fassil | 0,0500 | 0,0390 | 880,0 |
| 5 | Baumit lep, ma | 0,0030 | 0,8000 | 920,0 |
| 6 | Baumit DuoTop | 0,0300 | 0,7000 | 920,0 |
| 7 | Baumit Manu 1 | 0,0030 | 0,8300 | 790,0 |

| Střešní plášť a, b, d | | | | |
|-----------------------|----------------|---------|-----------------------|------------------|
| Číslo | Název | D [m] | λ [W/(m · K)] | c [J/(kg · K)] |
| 1 | Sádrokarton | 0,0125 | 0,2200 | 1060,0 |
| 2 | Uzavřená vzduc | 0,4000 | 2,5000 | 1010,0 |
| 3 | Železobeton 1 | 0,2500 | 1,4300 | 1020,0 |
| 4 | Asfaltový nátě | 0,0000 | 0,2100 | 1470,0 |
| 5 | Bitagit 40 Min | 0,0040 | 0,2100 | 1470,0 |
| 6 | Rigips EPS 100 | 0,1200 | 0,0370 | 1270,0 |
| 7 | Rigips EPS 200 | 0,1000 | 0,0340 | 1270,0 |
| 8 | Trocal Dachbah | 0,0015 | 0,1600 | 960,0 |

| Střešní plášť c | | | | |
|-----------------|----------------|---------|-----------------------|------------------|
| Číslo | Název | D [m] | λ [W/(m · K)] | c [J/(kg · K)] |
| 1 | Sádrokarton | 0,0125 | 0,2200 | 1060,0 |
| 2 | Derbigum SP-FR | 0,0040 | 0,2100 | 1470,0 |
| 3 | Isover Piano | 0,1200 | 0,0420 | 840,0 |
| 4 | Isover Piano | 0,1200 | 0,0420 | 840,0 |
| 5 | Protan G | 0,0015 | 0,1500 | 1500,0 |
| 6 | Dřevo měkké (t | 0,0240 | 0,1800 | 2510,0 |
| 7 | Dörken Delta-T | 0,0080 | 0,1700 | 1000,0 |

| Střešní plášť nad A4,01, B4,04 – B4,11 | | | | |
|--|----------------|---------|-----------------------|------------------|
| Číslo | Název | D [m] | λ [W/(m · K)] | c [J/(kg · K)] |
| 1 | Baumit Manu 1 | 0,0100 | 0,8300 | 790,0 |
| 2 | Porotherm 30 P | 0,3000 | 0,2300 | 960,0 |
| 3 | Baumit lep, ma | 0,0030 | 0,8000 | 920,0 |
| 4 | Isover Fassil | 0,1400 | 0,0390 | 880,0 |
| 5 | Baumit lep, ma | 0,0030 | 0,8000 | 920,0 |
| 6 | Baumit DuoTop | 0,0100 | 0,7000 | 920,0 |

| Podlaha přilehlá k zemi | | | | |
|-------------------------|----------------|---------|-----------------------|------------------|
| Číslo | Název | D [m] | λ [W/(m · K)] | c [J/(kg · K)] |
| 1 | Dlažba keramic | 0,0050 | 1,0100 | 840,0 |
| 2 | Potěr polymerc | 0,0280 | 0,9600 | 840,0 |
| 3 | Rigips EPS 200 | 0,1200 | 0,0340 | 1270,0 |
| 4 | Potěr polymerc | 0,0270 | 0,9600 | 840,0 |

| Podlaha nad volným prostorem | | | | |
|------------------------------|----------------|---------|-----------------------|------------------|
| Číslo | Název | D [m] | λ [W/(m · K)] | c [J/(kg · K)] |
| 1 | Podlahové lino | 0,0040 | 0,1700 | 1400,0 |
| 2 | Potěr polymerc | 0,0180 | 0,9600 | 840,0 |
| 3 | Rigips EPS 150 | 0,0600 | 0,0350 | 1270,0 |
| 4 | Potěr polymerc | 0,0180 | 0,9600 | 840,0 |
| 5 | Železobeton 1 | 0,2400 | 1,0430 | 1020,0 |

| | | | | |
|----|----------------|--------|--------|-------|
| 6 | Baumit lep, ma | 0,0030 | 0,8000 | 920,0 |
| 7 | Isover TF | 0,1000 | 0,0410 | 800,0 |
| 8 | Baumit lep, ma | 0,0030 | 0,8000 | 920,0 |
| 9 | Isover TF | 0,1000 | 0,0410 | 800,0 |
| 10 | Baumit lep, ma | 0,0030 | 0,8000 | 920,0 |
| 11 | Baumit DuoTop | 0,0030 | 0,7000 | 920,0 |

- Konstrukce „Objekt B2“

| Sendvičové obvodové zdivo TL, 460 mm | | | | |
|--------------------------------------|----------------|---------|-----------------------|------------------|
| Číslo | Název | D [m] | λ [W/(m · K)] | c [J/(kg · K)] |
| 1 | Baumit Manu 1 | 0,0100 | 0,8300 | 790,0 |
| 2 | Porotherm 40 P | 0,4000 | 0,1500 | 960,0 |
| 3 | Baumit lep, ma | 0,0030 | 0,8000 | 920,0 |
| 4 | Rigips GreyWal | 0,0500 | 0,0330 | 1270,0 |
| 5 | Baumit lep, ma | 0,0030 | 0,8000 | 920,0 |
| 6 | Baumit Silikon | 0,0030 | 0,7000 | 920,0 |

| Střešní plášť, objekt B2 | | | | |
|--------------------------|----------------|---------|-----------------------|------------------|
| Číslo | Název | D [m] | λ [W/(m · K)] | c [J/(kg · K)] |
| 1 | Dutinový panel | 0,3000 | 1,2000 | 840,0 |
| 2 | Bitagit 20 R M | 0,0020 | 0,2100 | 1470,0 |
| 3 | PE folie | 0,0001 | 0,3500 | 1470,0 |
| 4 | Rigips EPS 100 | 0,1200 | 0,0370 | 1270,0 |
| 5 | Rigips EPS 200 | 0,1000 | 0,0340 | 1270,0 |
| 6 | Fatrafol 804 | 0,0015 | 0,3500 | 1470,0 |

| Podlaha přilehlá k zemi | | | | |
|-------------------------|----------------|---------|-----------------------|------------------|
| Číslo | Název | D [m] | λ [W/(m · K)] | c [J/(kg · K)] |
| 1 | Železobeton 1 | 0,2200 | 1,4300 | 1020,0 |
| 2 | PE folie | 0,0001 | 0,3500 | 1470,0 |
| 3 | Extrudovaný po | 0,0900 | 0,0340 | 2060,0 |

PŘÍLOHA II: PRŮMĚRNÝ SOUČINTEL TEPLA

| Konstrukce | Referenční budova | | | |
|--|---|---|--|--|
| | Plocha A [m ²] | Součinitel prostupu tepla U [W/(m ² ·K)] | Redukční činitel b [-] | Měrná ztráta prostupem tepla H_T [W/K] |
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 550 mm | 259,78 | 0,30 | 1 | 77,93 |
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 460 mm + žb. monolitická ztužující stěna | 258,04 | 0,30 | 1 | 77,41 |
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 540 mm | 1014,39 | 0,30 | 1 | 304,32 |
| Obvodové zdivo TL. 350 mm | 37,09 | 0,30 | 1 | 11,13 |
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 460 mm | 637,65 | 0,30 | 1 | 191,30 |
| Skleněná stěna | 427,01 | 1,50 | 1 | 640,51 |
| Okno | 1 487,07 | 1,50 | 1 | 2 230,61 |
| Dveře skleněné | 41,75 | 1,70 | 1 | 70,99 |
| Dveře plechové | 27,51 | 1,70 | 1 | 46,77 |
| Střešní plášť a, b, d | 1 304,08 | 0,30 | 1 | 391,22 |
| Střešní plášť c | 138,43 | 0,30 | 1 | 41,53 |
| Střešní plášť nad A4.01, B4.04 – B4.11 | 184,59 | 0,30 | 1 | 55,38 |
| Střešní plášť, objekt B2 | 350,00 | 0,30 | 1 | 105,00 |
| Podlaha nad prostorem | 974,27 | 0,24 | 1 | 233,82 |
| Podlaha na zemině | 915,11 | 0,45 | 0,43 | 139,24 |
| Celkem | 8 056,80 | | | 4 655,00 |

| Konstrukce | Hodnocená budova | | | |
|--|---|---|--|--|
| | Plocha A [m ²] | Součinitel prostupu tepla U [W/(m ² ·K)] | Redukční činitel b [-] | Měrná ztráta prostupem tepla H_T [W/K] |
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 550 mm | 259,78 | 0,221 | 1 | 57,41 |
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 460 mm + žb. monolitická ztužující stěna | 258,04 | 0,240 | 1 | 61,93 |
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 540 mm | 1 014,39 | 0,225 | 1 | 228,24 |
| Obvodové zdivo TL. 350 mm | 37,09 | 0,270 | 1 | 10,01 |
| Sendvičové obvodové zdivo TL. 460 mm | 637,68 | 0,234 | 1 | 149,21 |
| Skleněná stěna | 427,01 | 1,000 | 1 | 427,01 |
| Okno | 1 487,07 | 0,890 | 1 | 1 323,49 |
| Dveře skleněné | 41,76 | 1,000 | 1 | 41,76 |
| Dveře plechové | 27,51 | 1,500 | 1 | 41,27 |
| Střešní plášť a, b, d | 1 304,08 | 0,168 | 1 | 219,09 |
| Střešní plášť c | 138,43 | 0,183 | 1 | 25,33 |
| Střešní plášť nad A4.01, B4.04 – B4.11 | 184,59 | 0,043 | 1 | 7,94 |
| Střešní plášť, objekt B2 | 350,00 | 0,172 | 1 | 60,20 |
| Podlaha nad prostorem | 974,27 | 0,161 | 1 | 156,86 |
| Podlaha na zemině | 915,11 | 0,314 | 0,46 | 132,18 |
| Celkem | 8 056,80 | | | 2 941,93 |

PŘÍLOHA III: VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT

Tato příloha obsahuje výpočet tepelných ztrát jednotlivých místností pro „Objekt A“ a „Objekt B2“. Pro „Objekt B1“ v obou dílčích částech rozpis není uveden z důvodu rozsáhlosti celého objektu.

- „Objekt A“

| Místnost | Půdorysná plocha objektu A [m ²] | Obestavěný prostor vytápěných částí budovy V [m ³] | Tepelná ztráta prostupem Φ_T [kW] | Tepelná ztráta větráním Φ_V [kW] | Celkové tepelné ztráty Φ_{HL} [kW] |
|-------------|---|---|--|---|---|
| A0.01 | 15,3 | 59,7 | 917 | 304 | 1 221 |
| A0.04 | 31,6 | 123,8 | 689 | 927 | 1 237 |
| A0.05 | 43,7 | 170,4 | 1 142 | 475 | 1 617 |
| A1.03 | 171,0 | 667,0 | 884 | 3 062 | 3 946 |
| A1.13 | 30,0 | 117,1 | 736 | 637 | 1 374 |
| A1.16 | 24,0 | 93,6 | 567 | 509 | 1 077 |
| A1.17 | 57,3 | 223,5 | 1 047 | 1 216 | 2 262 |
| A1.18 | 40,3 | 157,3 | 1 529 | 856 | 2 384 |
| A1.19 | 35,6 | 138,7 | 915 | 754 | 1 669 |
| A1.20 | 40,3 | 157,3 | 1 228 | 856 | 2 083 |
| A1.21 | 56,6 | 220,6 | 1 115 | 1 200 | 2 315 |
| A1.23 | 54,3 | 211,8 | 488 | 1 152 | 1 640 |
| A2.03 | 171,0 | 667,0 | 884 | 3 062 | 3 946 |
| A2.12 | 38,8 | 151,1 | 757 | 822 | 1 579 |
| A2.13 | 57,8 | 225,4 | 749 | 1 226 | 1 975 |
| A2.14 | 69,4 | 270,7 | 1 808 | 1 473 | 3 281 |
| A2.15 | 35,6 | 138,7 | 749 | 754 | 1 504 |
| A2.16 | 40,4 | 157,6 | 1 346 | 857 | 2 203 |
| A2.17 | 28,3 | 110,5 | 462 | 601 | 1 063 |
| A2.18 | 27,5 | 107,4 | 371 | 584 | 955 |
| A2.20 | 54,3 | 211,9 | 431 | 1 152 | 1 584 |
| A3.12; A3.2 | 30,3 | 118,2 | 1 256 | 643 | 1 899 |
| A3.13; A3.2 | 37,5 | 146,3 | 728 | 796 | 1 523 |
| A3.14; A3.2 | 28,2 | 110,0 | 611 | 598 | 1 209 |
| A3.15; A3.1 | 28,4 | 110,6 | 612 | 602 | 1 214 |
| A3.16; A3.1 | 40,3 | 157,3 | 1 553 | 856 | 2 408 |
| A3.03 | 171,0 | 667,0 | 884 | 3 062 | 3 946 |
| A3.17 | 35,6 | 138,7 | 936 | 754 | 1 690 |
| A4.01 | 48,5 | 189,2 | 2 607 | 869 | 3 475 |

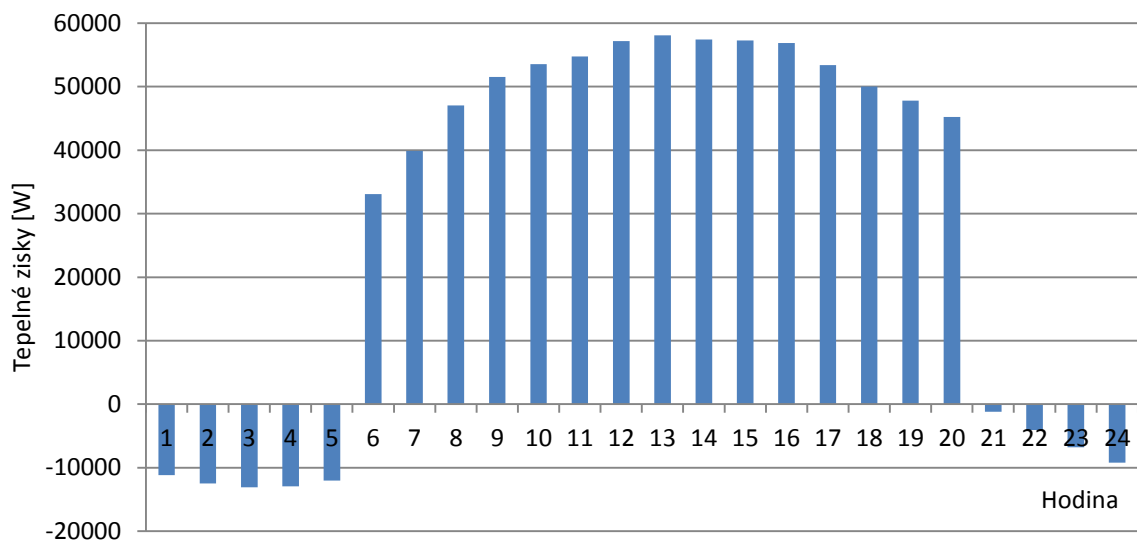
- „Objekt B2“

| Místnost | Půdorysná plocha objektu A [m ²] | Obestavěný prostor vytápěných částí budovy V [m ³] | Tepelná ztráta prostupem Φ_T [kW] | Tepelná ztráta větráním Φ_V [kW] | Celkové tepelné ztráty Φ_{HL} [kW] |
|----------|--|--|--|---|---|
| B0.30 | 163,8 | 409,5 | 4 937 | 1 0545 | 15 482 |
| B0.31 | 136,6 | 341,5 | 715 | 1 858 | 2 573 |

PŘÍLOHA IV: TEPELNÉ ZISKY

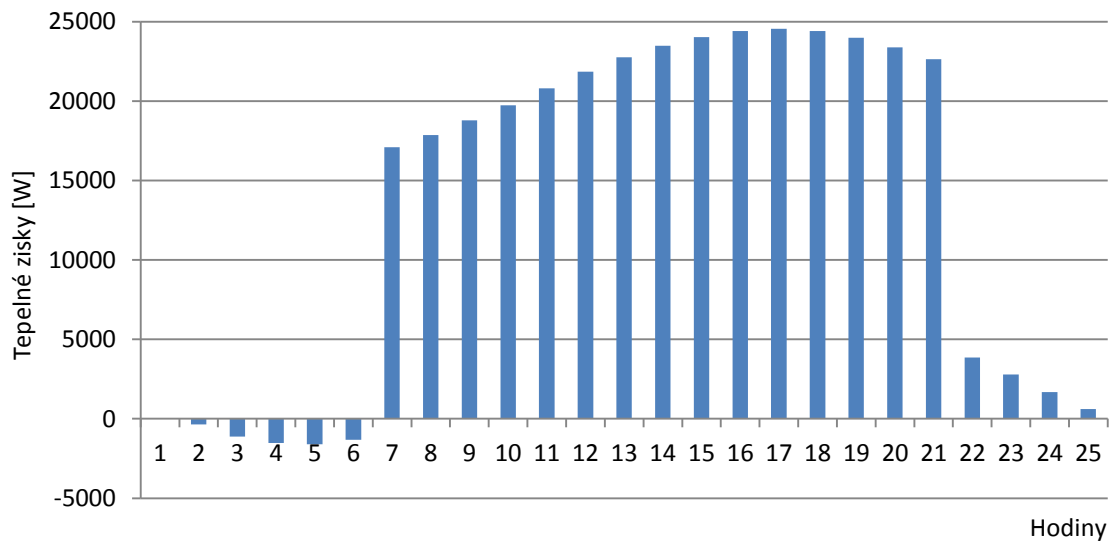
- „Objekt A“

| Objekt | Hodiny | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Měsíc | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | -54051 | -55350 | -55917 | -55717 | -54647 | -22120 | -19720 | -16875 | -10124 | 200 | 4222 | 7315 |
| 2 | -43462 | -44774 | -45380 | -45202 | -44232 | -5268 | -2942 | 2661 | 13058 | 20030 | 21490 | 24081 |
| 3 | -33180 | -34505 | -35115 | -34961 | -34054 | 10491 | 15081 | 25277 | 31618 | 35465 | 35805 | 38190 |
| 4 | -24304 | -25631 | -26232 | -26077 | -25160 | 19947 | 26777 | 33919 | 38384 | 40344 | 41552 | 43949 |
| 5 | -17111 | -18422 | -19031 | -18865 | -8069 | 30162 | 37107 | 42517 | 45443 | 45600 | 47023 | 49444 |
| 6 | -12540 | -13856 | -14452 | -13909 | -1489 | 32779 | 38962 | 44086 | 47150 | 47380 | 49004 | 51440 |
| 7 | -10503 | -11818 | -12413 | -12246 | -4066 | 33675 | 40014 | 45733 | 49330 | 50128 | 51746 | 54184 |
| 8 | -11164 | -12485 | -13093 | -12933 | -12021 | 33090 | 39913 | 47066 | 51514 | 53556 | 54756 | 57155 |
| 9 | -14814 | -16120 | -16735 | -16564 | -15643 | 26190 | 28794 | 37644 | 44763 | 49196 | 50310 | 52826 |
| 10 | -20722 | -22041 | -22633 | -22466 | -21489 | 17466 | 19799 | 25407 | 35795 | 42769 | 44220 | 46819 |
| 11 | -28662 | -29961 | -30548 | -30320 | -29256 | 3268 | 5658 | 8491 | 15241 | 25576 | 29591 | 32685 |
| 12 | -37747 | -39037 | -39620 | -39369 | -38280 | -8308 | -5906 | -3074 | 422 | 11336 | 16990 | 20372 |
| | | | | | | | | | | | | |
| Měsíc | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 1 | 7942 | 5311 | -410 | -2118 | -3297 | -5124 | -7564 | -10345 | -44045 | -46976 | -49700 | -52107 |
| 2 | 24950 | 23566 | 18813 | 15611 | 13472 | 11647 | 9218 | 6544 | -33532 | -36388 | -39109 | -41511 |
| 3 | 39044 | 38224 | 35836 | 34677 | 29842 | 27363 | 25074 | 22478 | -23239 | -26089 | -28817 | -31232 |
| 4 | 44899 | 44199 | 44064 | 43675 | 40230 | 36818 | 34574 | 32012 | -14321 | -17192 | -19927 | -22351 |
| 5 | 50539 | 50380 | 51803 | 51986 | 49741 | 45719 | 42987 | 40433 | -7092 | -9974 | -12717 | -15152 |
| 6 | 52667 | 53007 | 54482 | 54523 | 52337 | 48967 | 46512 | 43871 | -2495 | -5401 | -8161 | -10592 |
| 7 | 55293 | 55224 | 56419 | 56283 | 53733 | 50371 | 48147 | 45582 | -478 | -3376 | -6119 | -8558 |
| 8 | 58087 | 57409 | 57280 | 56876 | 53411 | 50015 | 47782 | 45225 | -1184 | -4044 | -6792 | -9213 |
| 9 | 53724 | 52807 | 50452 | 48855 | 44979 | 43150 | 40848 | 38171 | -4839 | -7710 | -10445 | -12861 |
| 10 | 47746 | 46364 | 41623 | 38411 | 36266 | 34387 | 31950 | 29284 | -10793 | -13647 | -16365 | -18783 |
| 11 | 33319 | 30684 | 24953 | 23252 | 22084 | 20245 | 17803 | 15026 | -18680 | -21604 | -24327 | -26720 |
| 12 | 20783 | 17334 | 12184 | 11675 | 10511 | 8680 | 6249 | 3444 | -27734 | -30686 | -33421 | -35811 |



- „Objekt B2“

| Objekt | Hodiny | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | Měsíc | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1 | -26971 | -27487 | -27618 | -27518 | -27198 | -8896 | -8029 | -6989 | -5865 | -4733 | -3679 | -2766 |
| 2 | -20518 | -21206 | -21337 | -21213 | -20863 | -2519 | -1852 | -813 | 311 | 1443 | 2495 | 3409 |
| 3 | -13952 | -14752 | -15073 | -14937 | -14568 | 3817 | 4519 | 5344 | 6464 | 7599 | 8650 | 9565 |
| 4 | -8405 | -9203 | -9596 | -9628 | -9250 | 9150 | 9896 | 10769 | 11735 | 12871 | 13921 | 14834 |
| 5 | -3833 | -4631 | -5042 | -5143 | -4866 | 13549 | 14321 | 15237 | 16177 | 17210 | 18263 | 19177 |
| 6 | -1305 | -2077 | -2479 | -2571 | -2329 | 16075 | 16860 | 17786 | 18752 | 19765 | 20813 | 21727 |
| 7 | -344 | -1119 | -1516 | -1598 | -1315 | 17094 | 17864 | 18780 | 19739 | 20796 | 21847 | 22762 |
| 8 | -1039 | -1835 | -2230 | -2260 | -1884 | 16516 | 17262 | 18135 | 19102 | 20239 | 21289 | 22202 |
| 9 | -3839 | -4601 | -4908 | -4780 | -4417 | 13963 | 14672 | 15544 | 16666 | 17800 | 18854 | 19766 |
| 10 | -7771 | -8461 | -8591 | -8468 | -8116 | 10226 | 10894 | 11935 | 13057 | 14190 | 15241 | 16156 |
| 11 | -12743 | -13258 | -13396 | -13290 | -12969 | 5333 | 6192 | 7232 | 8356 | 9491 | 10541 | 11455 |
| 12 | -17985 | -18463 | -18611 | -18511 | -18207 | 144 | 1024 | 2067 | 3187 | 4324 | 5374 | 6289 |
| Měsíc | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 1 | -2054 | -1599 | -1436 | -1555 | -1942 | -2453 | -3171 | -4089 | -22987 | -24132 | -25120 | -26113 |
| 2 | 4123 | 4577 | 4741 | 4627 | 4399 | 3959 | 3270 | 2365 | -16525 | -17485 | -18529 | -19571 |
| 3 | 10278 | 10732 | 10896 | 10981 | 10856 | 10447 | 9776 | 8879 | -9795 | -10788 | -11879 | -12959 |
| 4 | 15549 | 16005 | 16334 | 16485 | 16360 | 15947 | 15269 | 14521 | -4204 | -5240 | -6343 | -7419 |
| 5 | 19889 | 20451 | 20855 | 21025 | 20900 | 20482 | 19897 | 19172 | 400 | -663 | -1772 | -2849 |
| 6 | 22449 | 23042 | 23436 | 23586 | 23446 | 23017 | 22441 | 21684 | 2904 | 1831 | 725 | -340 |
| 7 | 23476 | 24027 | 24405 | 24553 | 24416 | 23985 | 23373 | 22624 | 3854 | 2794 | 1690 | 623 |
| 8 | 22917 | 23373 | 23702 | 23853 | 23729 | 23315 | 22637 | 21889 | 3163 | 2128 | 1024 | -53 |
| 9 | 20480 | 20934 | 21098 | 21159 | 21006 | 20582 | 19899 | 18995 | 272 | -727 | -1809 | -2871 |
| 10 | 16870 | 17325 | 17489 | 17372 | 17146 | 16703 | 16017 | 15111 | -3779 | -4740 | -5783 | -6824 |
| 11 | 12169 | 12625 | 12787 | 12666 | 12279 | 11768 | 11051 | 10134 | -8764 | -9910 | -10899 | -11884 |
| 12 | 7003 | 7457 | 7621 | 7498 | 7083 | 6522 | 5791 | 4866 | -14034 | -15199 | -16231 | -17182 |



**PŘÍLOHA V: ROZPIS OTOPNÝCH TĚLES PRO „OBJEKT A“ A
„OBJEKT B2“**

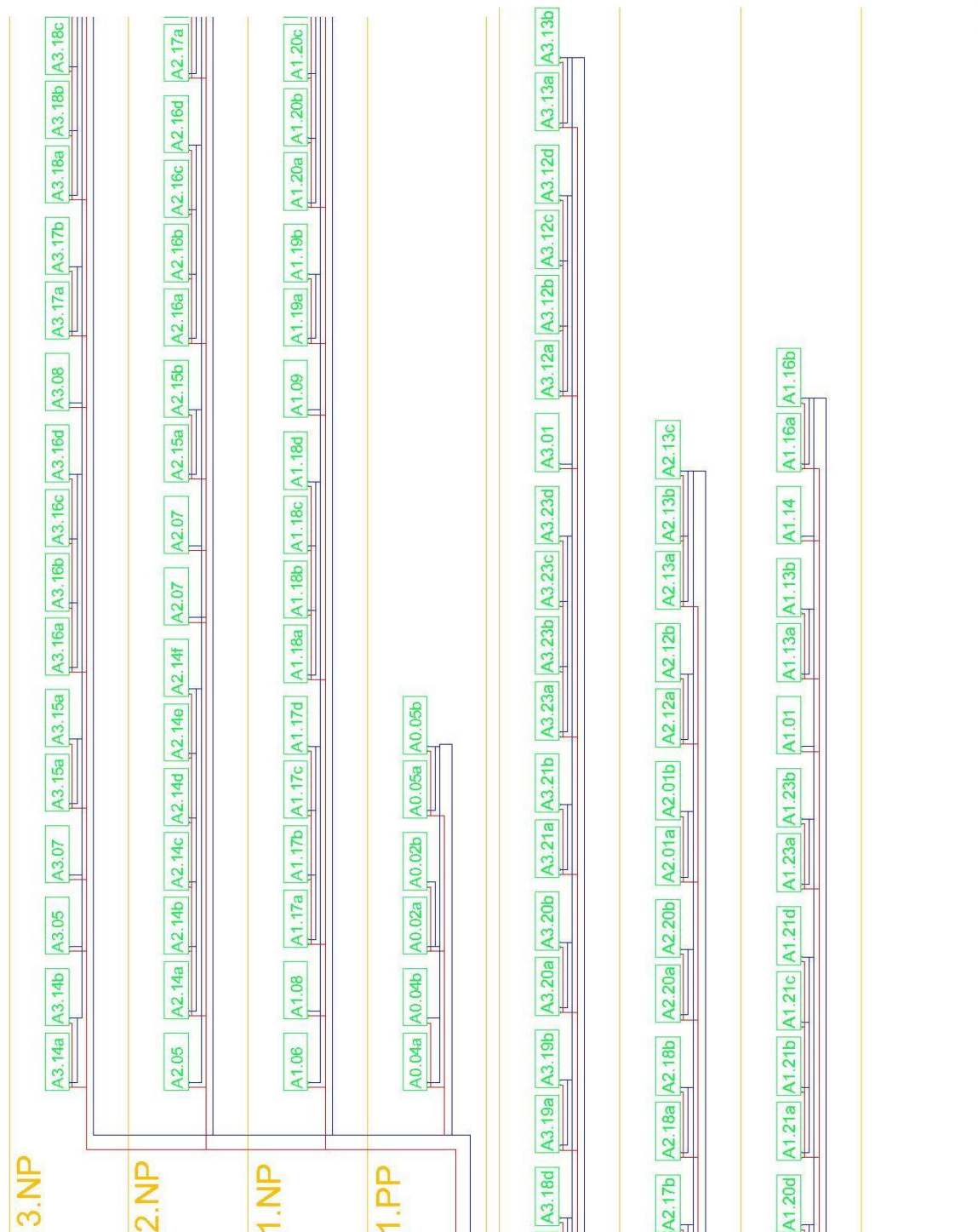
- „Objekt A“

| Místnost | Výkon OT [kW] | Typ | Místnost | Výkon OT [kW] | Typ | Místnost | Výkon OT [kW] | Typ |
|----------|---------------|------|----------|---------------|------|----------|---------------|------|
| A0.01 | 882 | 22VK | A1.06 | 280 | 11VK | A3.12 | 560 | 11VK |
| | 882 | 22VK | A1.08 | 280 | 11VK | | 560 | 11VK |
| A0.04 | 750 | 11VK | A1.09 | 185 | 10VK | | 560 | 11VK |
| | 750 | 11VK | A2.01 | 2190 | 22VK | | 560 | 11VK |
| A0.05 | 882 | 22VK | | 2190 | 22VK | A3.13 | 875 | 11VK |
| | 882 | 22VK | A2.12 | 875 | 11VK | | 875 | 11VK |
| A1.01 | 2 190 | 22VK | | 875 | 11VK | A3.14 | 640 | 11VK |
| A1.13 | 750 | 11VK | A2.13 | 719 | 11VK | | 640 | 11VK |
| | 750 | 11VK | | 719 | 11VK | A3.15 | 640 | 11VK |
| A1.14 | 500 | 11VK | | 719 | 11VK | | 640 | 11VK |
| A1.16 | 625 | 10VK | A2.14 | 719 | 11VK | A3.16 | 640 | 11VK |
| | 625 | 10VK | | 719 | 11VK | | 640 | 11VK |
| A1.17 | 640 | 11VK | | 719 | 11VK | | 640 | 11VK |
| | 640 | 11VK | | 719 | 11VK | | 640 | 11VK |
| | 640 | 11VK | | 719 | 11VK | A3.17 | 875 | 11VK |
| | 640 | 11VK | | 719 | 11VK | | 875 | 11VK |
| A1.18 | 640 | 11VK | A2.15 | 875 | 11VK | A3.18 | 640 | 11VK |
| | 604 | 11VK | | 875 | 11VK | | 640 | 11VK |
| | 604 | 11VK | A2.16 | 719 | 11VK | | 640 | 11VK |
| | 604 | 11VK | | 719 | 11VK | | 640 | 11VK |
| A1.19 | 640 | 11VK | | 719 | 11VK | A3.19 | 640 | 11VK |
| | 640 | 11VK | | 719 | 11VK | | 640 | 11VK |
| A1.20 | 560 | 11VK | A2.17 | 875 | 11VK | A3.20 | 640 | 11VK |
| | 560 | 11VK | | 875 | 11VK | | 640 | 11VK |
| | 560 | 11VK | A2.18 | 560 | 11VK | A3.21 | 875 | 11VK |
| | 560 | 11VK | | 560 | 11VK | | 875 | 11VK |
| A1.21 | 640 | 11VK | A2.20 | 875 | 11VK | A3.23 | 560 | 11VK |
| | 640 | 11VK | | 875 | 11VK | | 560 | 11VK |
| | 640 | 11VK | A2.05 | 280 | 11VK | | 560 | 11VK |
| | 640 | 11VK | A2.07 | 280 | 11VK | | 560 | 11VK |
| A1.23 | 1 031 | 11VK | A2.08 | 185 | 10VK | A3.05 | 280 | 11VK |
| | 1 031 | 11VK | A3.01 | 2 190 | 22VK | A3.07 | 280 | 11VK |
| | | | | | | A3.08 | 185 | 10VK |

- „Objekt B2“

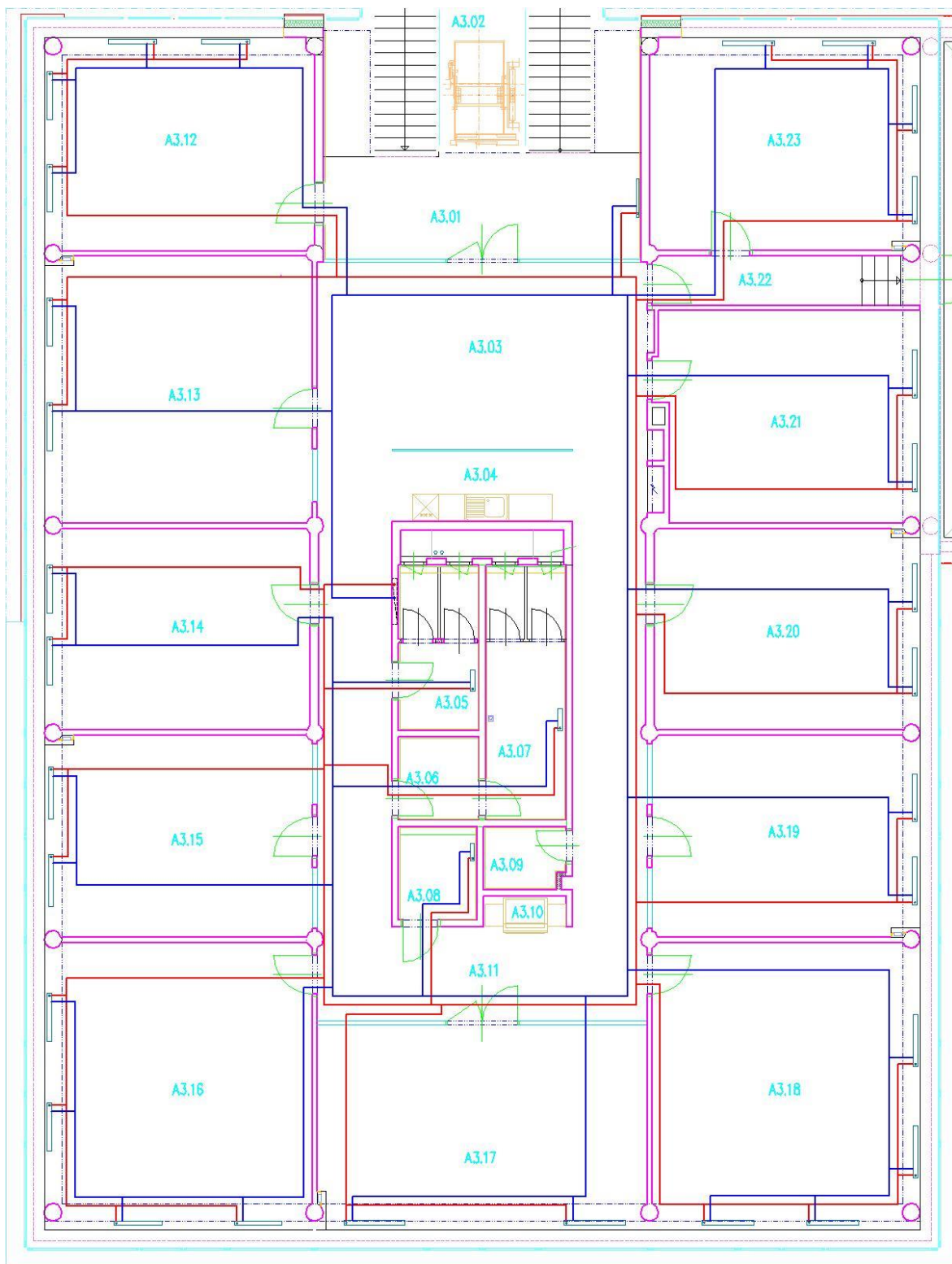
| Místnost | Výkon OT [kW] | Typ |
|----------|------------------|------|
| B0.30 | 2 190 | 22VK |
| | 2 190 | 22VK |
| | 2 190 | 22VK |
| | 2 190 | 22VK |
| B0.35 | 561 | 22VK |
| B0.34 | 561 | 22VK |

PŘÍLOHA VI: SCHÉMA SOUSTAVY OTOPNÝCH TĚLES



Pozn.: schéma bylo rozděleno do dvou částí umístěných pod sebe.

PŘÍLOHA VII: PŮDORYS 3. NP SE ZAKRESLENOU OTOPNOU SOUSTAVOU



PŘÍLOHA VIII: VÝPOČET TLAKOVÝCH ZTRÁT „OBJEKT A“

- Místnost A3.14

| Úsek | P [W] | \dot{m} [kg/h] | l [m] | d [mm] | w [m/s] | R [Pa/m] | Δp_λ [Pa] | ξ [-] | Δp_ξ [Pa] | Δp [Pa] |
|------|------------|---------------------|------------|-------------|--------------|---------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 1280 | 55 | 7,5 | 10 | 0,20 | 74,5 | 558,6 | 8,0 | 155,0 | 713,8 |
| 2 | 1280 | 55 | 7,0 | 10 | 0,20 | 74,5 | 521,5 | 2,2 | 39,2 | 560,7 |
| 3 | 640 | 28 | 3,0 | 8 | 0,16 | 52,5 | 157,5 | 5,5 | 69,3 | 226,8 |
| 4 | 640 | 28 | 3,0 | 8 | 0,16 | 52,5 | 157,5 | 3,7 | 45,0 | 202,5 |

$$\Delta p_{A3.14} = 1\,501,2 \text{ Pa}$$

- Místnost A3.05

| Úsek | P [W] | \dot{m} [kg/h] | l [m] | d [mm] | w [m/s] | R [Pa/m] | Δp_λ [Pa] | ξ [-] | Δp_ξ [Pa] | Δp [Pa] |
|------|------------|---------------------|------------|-------------|--------------|---------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 280 | 12 | 6 | 6 | 0,13 | 39,5 | 237 | 4,2 | 35 | 272 |

$$\Delta p_{A3.05} = 272,0 \text{ Pa}$$

- Místnost A3.07

| Úsek | P [W] | \dot{m} [kg/h] | l [m] | d [mm] | w [m/s] | R [Pa/m] | Δp_λ [Pa] | ξ [-] | Δp_ξ [Pa] | Δp [Pa] |
|------|------------|---------------------|------------|-------------|--------------|---------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 280 | 12 | 12,5 | 6 | 0,13 | 39,5 | 493,7 | 4,2 | 35 | 528,7 |

$$\Delta p_{A3.07} = 528,7 \text{ Pa}$$

- Místnost A3.15

| Úsek | P [W] | \dot{m} [kg/h] | l [m] | d [mm] | w [m/s] | R [Pa/m] | Δp_λ [Pa] | ξ [-] | Δp_ξ [Pa] | Δp [Pa] |
|------|------------|---------------------|------------|-------------|--------------|---------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 1 280 | 55 | 7,5 | 10 | 0,20 | 74,5 | 558,6 | 8,0 | 155 | 713,8 |
| 2 | 1 280 | 55 | 7,0 | 10 | 0,20 | 74,5 | 521,5 | 2,5 | 48,6 | 570,1 |
| 3 | 640 | 28 | 3,0 | 8 | 0,16 | 52,5 | 157,5 | 5,5 | 69,0 | 226,5 |
| 4 | 640 | 28 | 3,0 | 8 | 0,16 | 52,5 | 157,5 | 3,7 | 46,0 | 203,5 |

$$\Delta p_{A3.15} = 1\,510,4 \text{ Pa}$$

- Místnost A3.16

| Úsek | P [W] | \dot{m} [kg/h] | l [m] | d [mm] | w [m/s] | R [Pa/m] | Δp_λ [Pa] | ξ [-] | Δp_ξ [Pa] | Δp [Pa] |
|------|------------|---------------------|------------|-------------|--------------|---------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 2 560 | 110 | 7,0 | 13 | 0,24 | 69 | 483,0 | 4 | 112,0 | 595,0 |
| 2 | 2 560 | 110 | 9,2 | 13 | 0,24 | 69 | 634,8 | 6 | 168,0 | 802,8 |
| 3 | 1 920 | 83 | 3,0 | 13 | 0,17 | 40 | 120,0 | 0 | 0 | 120,0 |

| | | | | | | | | | | |
|----|-------|----|-----|----|------|------|-------|---|------|-------|
| 4 | 1 280 | 55 | 3,5 | 10 | 0,20 | 74,5 | 260,7 | 2 | 38,9 | 299,6 |
| 5 | 1 280 | 55 | 3,5 | 10 | 0,20 | 74,5 | 260,7 | 2 | 38,9 | 299,6 |
| 6 | 1 920 | 83 | 3,0 | 13 | 0,17 | 40,0 | 120,0 | 0 | 0 | 120,0 |
| 7 | 640 | 28 | 4,0 | 8 | 0,16 | 52,5 | 210,0 | 6 | 74,6 | 284,6 |
| 8 | 640 | 28 | 2,0 | 8 | 0,16 | 52,5 | 105,0 | 4 | 49,8 | 154,8 |
| 9 | 640 | 28 | 2,0 | 8 | 0,16 | 52,5 | 105,0 | 4 | 49,8 | 154,8 |
| 10 | 640 | 28 | 4,0 | 8 | 0,16 | 52,5 | 210,0 | 6 | 74,6 | 284,6 |

$$\Delta p_{A3.16} = 2\,102,0 \text{ Pa}$$

- Místnost A3.08

| Úsek | P [W] | \dot{m} [kg/h] | l [m] | d [mm] | w [m/s] | R [Pa/m] | Δp_λ [Pa] | ξ [—] | Δp_ξ [Pa] | Δp [Pa] |
|------|------------|---------------------|------------|-------------|--------------|---------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 185 | 8 | 8 | 6 | 0,1 | 32 | 256 | 12 | 58,3 | 314,3 |

$$\Delta p_{A3.08} = 314,3 \text{ Pa}$$

- Místnost A3.17

| Úsek | P [W] | \dot{m} [kg/h] | l [m] | d [mm] | w [m/s] | R [Pa/m] | Δp_λ [Pa] | ξ [—] | Δp_ξ [Pa] | Δp [Pa] |
|------|------------|---------------------|------------|-------------|--------------|---------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 1 750 | 75 | 6,5 | 13 | 0,17 | 40,0 | 260 | 8 | 112,0 | 372,0 |
| 2 | 1 750 | 75 | 5,2 | 13 | 0,17 | 40,0 | 208 | 3 | 42,1 | 250,1 |
| 3 | 875 | 38 | 6,0 | 10 | 0,13 | 29,5 | 177 | 6 | 49,3 | 226,3 |
| 4 | 875 | 38 | 6,0 | 10 | 0,13 | 29,5 | 177 | 6 | 49,3 | 226,3 |

$$\Delta p_{A3.17} = 848,4 \text{ Pa}$$

- Místnost A3.18

| Úsek | P [W] | \dot{m} [kg/h] | l [m] | d [mm] | w [m/s] | R [Pa/m] | Δp_λ [Pa] | ξ [—] | Δp_ξ [Pa] | Δp [Pa] |
|------|------------|---------------------|------------|-------------|--------------|---------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 2 560 | 110 | 7,0 | 13 | 0,24 | 69,0 | 483,0 | 4 | 112,0 | 595,0 |
| 2 | 2 560 | 110 | 9,2 | 13 | 0,24 | 69,0 | 634,8 | 6 | 168,0 | 802,8 |
| 3 | 1 920 | 83 | 3,0 | 13 | 0,17 | 40,0 | 120,0 | 0 | 0 | 120,0 |
| 4 | 1 280 | 55 | 3,5 | 10 | 0,20 | 74,5 | 260,7 | 2 | 38,9 | 299,6 |
| 5 | 1 280 | 55 | 3,5 | 10 | 0,20 | 74,5 | 260,7 | 2 | 38,9 | 299,9 |
| 6 | 1 920 | 83 | 3,0 | 13 | 0,17 | 40,0 | 120,0 | 0 | 0 | 120,0 |
| 7 | 640 | 28 | 4,0 | 8 | 0,16 | 52,5 | 210,0 | 6 | 74,6 | 284,6 |
| 8 | 640 | 28 | 2,0 | 8 | 0,16 | 52,5 | 105,0 | 4 | 49,8 | 154,8 |
| 9 | 640 | 28 | 2,0 | 8 | 0,16 | 52,5 | 105,0 | 4 | 49,8 | 154,8 |
| 10 | 640 | 28 | 4,0 | 8 | 0,16 | 52,5 | 210,0 | 6 | 74,6 | 284,6 |

$$\Delta p_{A3.18} = 2\,102,0 \text{ Pa}$$

- Místnost A3.19

| Úsek | P [W] | \dot{m} [kg/h] | l [m] | d [mm] | w [m/s] | R [Pa/m] | Δp_λ [Pa] | ξ [-] | Δp_ξ [Pa] | Δp [Pa] |
|------|------------|---------------------|------------|-------------|--------------|---------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 1 280 | 55 | 7,0 | 10 | 0,20 | 74,5 | 521,5 | 4 | 77,7 | 599,2 |
| 2 | 1 280 | 55 | 7,0 | 10 | 0,20 | 74,5 | 521,5 | 3 | 58,3 | 579,8 |
| 3 | 640 | 28 | 2,5 | 8 | 0,16 | 52,5 | 131,2 | 6 | 74,6 | 205,8 |
| 4 | 640 | 28 | 2,5 | 8 | 0,16 | 52,5 | 131,2 | 4 | 49,8 | 181,0 |

$$\Delta p_{A3.19} = 1\,384,8 \text{ Pa}$$

- Místnost A3.20

| Úsek | P [W] | \dot{m} [kg/h] | l [m] | d [mm] | w [m/s] | R [Pa/m] | Δp_λ [Pa] | ξ [-] | Δp_ξ [Pa] | Δp [Pa] |
|------|------------|---------------------|------------|-------------|--------------|---------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 1 280 | 55 | 8 | 10 | 0,20 | 74,5 | 596,0 | 6 | 117,0 | 713,0 |
| 2 | 1 280 | 55 | 7 | 10 | 0,20 | 74,5 | 521,5 | 4 | 77,7 | 599,2 |
| 3 | 640 | 28 | 3 | 8 | 0,16 | 52,5 | 157,5 | 6 | 74,6 | 232,1 |
| 4 | 640 | 28 | 3 | 8 | 0,16 | 52,5 | 157,5 | 7 | 87,1 | 244,6 |

$$\Delta p_{A3.20} = 1\,556,8 \text{ Pa}$$

- Místnost A3.21

| Úsek | P [W] | \dot{m} [kg/h] | l [m] | d [mm] | w [m/s] | R [Pa/m] | Δp_λ [Pa] | ξ [-] | Δp_ξ [Pa] | Δp [Pa] |
|------|------------|---------------------|------------|-------------|--------------|---------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 1750 | 75 | 6,5 | 13 | 0,17 | 40,0 | 260 | 6 | 117 | 377,0 |
| 2 | 1750 | 75 | 5,2 | 13 | 0,17 | 40,0 | 208 | 4 | 77,7 | 285,7 |
| 3 | 875 | 38 | 6,0 | 10 | 0,13 | 29,5 | 177 | 6 | 74,6 | 251,6 |
| 4 | 875 | 38 | 6,0 | 10 | 0,13 | 29,5 | 177 | 7 | 87,1 | 264,1 |

$$\Delta p_{A3.21} = 926,8 \text{ Pa}$$

- Místnost A3.23

| Úsek | P [W] | \dot{m} [kg/h] | l [m] | d [mm] | w [m/s] | R [Pa/m] | Δp_λ [Pa] | ξ [-] | Δp_ξ [Pa] | Δp [Pa] |
|------|------------|---------------------|------------|-------------|--------------|---------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 2 560 | 110 | 9,0 | 13 | 0,24 | 69,0 | 621,0 | 6 | 168,0 | 789,0 |
| 2 | 2 560 | 110 | 9,0 | 13 | 0,24 | 69,0 | 621,0 | 4 | 112,0 | 733,0 |
| 3 | 1 920 | 83 | 2,0 | 13 | 0,17 | 40,0 | 80,0 | 0 | 0 | 80,0 |
| 4 | 1 280 | 55 | 2,5 | 10 | 0,20 | 74,5 | 186,2 | 2 | 38,9 | 225,1 |
| 5 | 1 280 | 55 | 2,5 | 10 | 0,20 | 74,5 | 186,2 | 2 | 38,9 | 225,1 |
| 6 | 1 920 | 83 | 2,5 | 13 | 0,17 | 40,0 | 100,0 | 0 | 0 | 100,0 |

| | | | | | | | | | | |
|----|-----|----|-----|---|------|------|-------|---|------|-------|
| 7 | 640 | 28 | 4,0 | 8 | 0,16 | 52,5 | 210,0 | 4 | 49,8 | 259,8 |
| 8 | 640 | 28 | 2,0 | 8 | 0,16 | 52,5 | 105,0 | 4 | 49,8 | 154,8 |
| 9 | 640 | 28 | 2,0 | 8 | 0,16 | 52,5 | 105,0 | 4 | 49,8 | 154,8 |
| 10 | 640 | 28 | 4,0 | 8 | 0,16 | 52,5 | 210,0 | 4 | 49,8 | 259,8 |

$$\Delta p_{A3.23} = 2\,106,9 \text{ Pa}$$

- Místnost A3.01

| Úsek | P [W] | \dot{m} [kg/h] | l [m] | d [mm] | w [m/s] | R [Pa/m] | Δp_λ [Pa] | ξ [-] | Δp_ξ [Pa] | Δp [Pa] |
|------|------------|---------------------|------------|-------------|--------------|---------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 2190 | 94 | 6 | 13 | 0,22 | 58,5 | 351 | 8 | 188 | 539 |

$$\Delta p_{A3.01} = 539,0 \text{ Pa}$$

- Místnost A3.12

| Úsek | P [W] | \dot{m} [kg/h] | l [m] | d [mm] | w [m/s] | R [Pa/m] | Δp_λ [Pa] | ξ [-] | Δp_ξ [Pa] | Δp [Pa] |
|------|------------|---------------------|------------|-------------|--------------|---------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 2 240 | 96 | 9,5 | 13 | 0,22 | 58,5 | 555,7 | 6 | 141,0 | 696,7 |
| 2 | 2 240 | 96 | 8,0 | 13 | 0,22 | 58,5 | 468,0 | 7 | 165,0 | 633,0 |
| 3 | 1 680 | 72 | 2,5 | 13 | 0,15 | 32,5 | 81,25 | 0 | 0 | 81,2 |
| 4 | 1 120 | 48 | 2,5 | 10 | 0,18 | 61,5 | 153,7 | 2 | 31,5 | 185,2 |
| 5 | 1 120 | 48 | 2,5 | 10 | 0,18 | 61,5 | 153,7 | 2 | 31,5 | 185,2 |
| 6 | 1 680 | 72 | 2,5 | 13 | 0,15 | 32,5 | 81,2 | 0 | 0 | 81,2 |
| 7 | 560 | 24 | 4,0 | 8 | 0,14 | 37,0 | 148,0 | 6 | 57,1 | 205,1 |
| 8 | 560 | 24 | 2,0 | 8 | 0,14 | 37,0 | 74,0 | 6 | 57,1 | 131,1 |
| 9 | 560 | 24 | 2,0 | 8 | 0,14 | 37,0 | 74,0 | 6 | 57,1 | 131,1 |
| 10 | 560 | 24 | 4,0 | 8 | 0,14 | 37,0 | 148,0 | 6 | 57,1 | 205,1 |

$$\Delta p_{A3.12} = 1\,801,3 \text{ Pa}$$

- Místnost A3.13

| Úsek | P [W] | \dot{m} [kg/h] | l [m] | d [mm] | w [m/s] | R [Pa/m] | Δp_λ [Pa] | ξ [-] | Δp_ξ [Pa] | Δp [Pa] |
|------|------------|---------------------|------------|-------------|--------------|---------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 1 750 | 75 | 7,0 | 13 | 0,17 | 40,0 | 280,0 | 2 | 28,1 | 308,1 |
| 2 | 1 750 | 75 | 5,5 | 13 | 0,17 | 40,0 | 220,0 | 3 | 42,1 | 262,1 |
| 3 | 875 | 38 | 3,5 | 10 | 0,13 | 29,5 | 103,2 | 6 | 49,3 | 152,5 |
| 4 | 875 | 38 | 3,5 | 10 | 0,13 | 29,5 | 103,2 | 6 | 49,3 | 152,5 |

$$\Delta p_{A3.13} = 722,7 \text{ Pa}$$

• Podlaží A3

| Úsek | P [W] | \dot{m} [kg/h] | l [m] | d [mm] | w [m/s] | R [Pa/m] | Δp_λ [Pa] | ξ [-] | Δp_ξ [Pa] | Δp [Pa] |
|------|------------|---------------------|------------|-------------|--------------|---------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 69 864 | 3 008,5 | 22 | 50 | 0,48 | 43,0 | 946,0 | 2 | 224 | 1 170,0 |
| 2 | 64 836 | 2 792,0 | 16 | 50 | 0,48 | 33,5 | 536,0 | 6 | 672 | 1 208,0 |
| 3 | 45 497 | 1 959,2 | 4 | 39 | 0,48 | 61,0 | 244,0 | 1 | 112 | 356,0 |
| 4 | 22 905 | 986,3 | 6 | 32 | 0,36 | 45,5 | 273,0 | 2 | 126 | 399,0 |
| 5 | 21 625 | 931,2 | 3 | 32 | 0,32 | 38,0 | 114,0 | 0 | 0 | 114,0 |
| 6 | 21 345 | 919,2 | 3 | 32 | 0,32 | 38,0 | 114,0 | 0 | 0 | 114,0 |
| 7 | 21 065 | 907,1 | 0 | 32 | 0,32 | 38,0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 19 785 | 852,0 | 4 | 32 | 0,32 | 38,0 | 152,0 | 0 | 0 | 152,0 |
| 9 | 17 225 | 741,7 | 3 | 26 | 0,38 | 67,5 | 202,5 | 2 | 140 | 342,5 |
| 10 | 17 040 | 733,8 | 0 | 26 | 0,38 | 67,5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 15 280 | 658,0 | 6 | 26 | 0,34 | 54,5 | 327,0 | 2 | 112 | 439,0 |
| 12 | 12 730 | 548,2 | 2 | 26 | 0,30 | 44,0 | 88,0 | 0 | 0 | 88,0 |
| 13 | 11 450 | 493,1 | 7 | 25 | 0,30 | 43,5 | 304,5 | 0 | 0 | 304,5 |
| 14 | 10 170 | 437,9 | 6 | 25 | 0,26 | 36,0 | 216,0 | 0 | 0 | 216,0 |
| 15 | 8 420 | 362,6 | 3 | 20 | 0,32 | 71,0 | 213,0 | 0 | 0 | 213,0 |
| 16 | 6 180 | 266,1 | 0 | 20 | 0,22 | 37,5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 3 990 | 171,8 | 7 | 16 | 0,26 | 61,0 | 427,0 | 0 | 0 | 427,0 |
| 18 | 1 750 | 75,4 | – | – | – | – | – | – | – | 722,7 |
| 19 | 22 905 | 986,3 | 10 | 32 | 0,36 | 45,5 | 455,0 | 2 | 126 | 581,0 |
| 20 | 45 497 | 1 959,2 | 4 | 39 | 0,48 | 61,0 | 244,0 | 1 | 112 | 356,0 |
| 21 | 64 836 | 2 792,0 | 16 | 50 | 0,48 | 33,5 | 536,0 | 6 | 672 | 1 208,0 |
| 22 | 69 864 | 3 008,5 | 22 | 50 | 0,48 | 43,0 | 946,0 | 2 | 224 | 1 170,0 |
| 23 | 1 560 | 67,2 | 3 | 13 | 0,15 | 32,5 | 97,5 | 0 | 0 | 97,5 |
| 24 | 1 840 | 79,2 | 2 | 13 | 0,17 | 40,0 | 80,0 | 0 | 0 | 80,0 |
| 25 | 3 120 | 134,4 | 3 | 16 | 0,20 | 39,0 | 117,0 | 0 | 0 | 117,0 |
| 26 | 5 680 | 244,6 | 2 | 20 | 0,22 | 37,5 | 75,0 | 0 | 0 | 75,0 |
| 27 | 5 865 | 252,6 | 4 | 20 | 0,22 | 37,5 | 150,0 | 0 | 0 | 150,0 |
| 28 | 7 615 | 327,9 | 2 | 20 | 0,30 | 57,5 | 115,0 | 2 | 87 | 202,0 |
| 29 | 10 175 | 438,2 | 4 | 25 | 0,26 | 36,0 | 144,0 | 0 | 0 | 144,0 |
| 30 | 11 455 | 493,3 | 5 | 25 | 0,30 | 43,5 | 217,5 | 0 | 0 | 217,5 |
| 31 | 12 735 | 548,4 | 5 | 25 | 0,32 | 53,0 | 265,0 | 0 | 0 | 265,0 |
| 32 | 14 485 | 623,8 | 2 | 26 | 0,34 | 54,5 | 109,0 | 0 | 0 | 109,0 |
| 33 | 16 725 | 720,2 | 0 | 26 | 0,38 | 67,5 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | |
|----|--------|-------|---|----|------|------|-------|---|-----|---------|
| 34 | 18 915 | 814,5 | 6 | 32 | 0,28 | 30,5 | 183,0 | 0 | 0 | 183,0 |
| 35 | 21 155 | 911,0 | 4 | 32 | 0,32 | 38,0 | 152,0 | 2 | 100 | 252,0 |
| 36 | 1 280 | 55,1 | – | – | – | – | – | – | – | 1 501,2 |
| 37 | 280 | 12,1 | – | – | – | – | – | – | – | 272,0 |
| 38 | 280 | 12,1 | – | – | – | – | – | – | – | 528,7 |
| 39 | 1 280 | 55,1 | – | – | – | – | – | – | – | 1 510,4 |
| 40 | 2 560 | 110,2 | – | – | – | – | – | – | – | 2 102,0 |
| 41 | 185 | 8,0 | – | – | – | – | – | – | – | 314,3 |
| 42 | 1 750 | 75,4 | – | – | – | – | – | – | – | 848,4 |
| 43 | 2 560 | 110,2 | – | – | – | – | – | – | – | 2 102,0 |
| 44 | 1 280 | 55,1 | – | – | – | – | – | – | – | 1 384,8 |
| 45 | 1 750 | 75,4 | – | – | – | – | – | – | – | 1 556,8 |
| 46 | 2 240 | 96,5 | – | – | – | – | – | – | – | 926,8 |
| 47 | 2 190 | 94,3 | – | – | – | – | – | – | – | 2 106,9 |
| 48 | 2 240 | 96,5 | – | – | – | – | – | – | – | 539,0 |
| 49 | 2 190 | 94,3 | – | – | – | – | – | – | – | 1 801,3 |

$$\Delta p_{A3} = 10\,972,9 \text{ Pa}$$

PŘÍLOHA IX: KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY PRO „OBJEKT A“

| Místnost | Tepelné zisky Φ_{zisk} [W] | Jmenovitý chladicí výkon Φ_{chlad} [W] | Typ zařízení |
|----------|------------------------------------|--|--------------|
| A1.13 | 2 377 | 2 800 | SDV – 28CA |
| A1.16 | 2 746 | 2 800 | SDV – 28CA |
| A1.17 | 3 482 | 3 600 | SDV – 36CA |
| A1.18 | 4 186 | 4 500 | SDV – 45CA |
| A1.19 | 2 881 | 3 600 | SDV – 36CA |
| A1.20 | 2 766 | 2 800 | SDV – 28CA |
| A1.23 | 1 980 | 2 800 | SDV – 28CA |
| A2.12 | 2 522 | 2 800 | SDV – 28CA |
| A2.13 | 3 448 | 3 600 | SDV – 36CA |
| A2.14 | 5 984 | 7 100 | SDV – 71C4A |
| A2.15 | 2 939 | 3 600 | SDV – 36CA |
| A2.16 | 2 932 | 3 600 | SDV – 36CA |
| A2.17 | 965 | 2 800 | SDV – 28CA |
| A2.18 | 876 | 2 800 | SDV – 28CA |
| A2.20 | 1,936 | 2 800 | SDV – 28CA |
| A3.12 | 3 515 | 3 600 | SDV – 36CA |
| A3.13 | 2 882 | 3 600 | SDV – 36CA |
| A3.14 | 2 232 | 2 800 | SDV – 28CA |
| A3.15 | 2 232 | 2 800 | SDV – 28CA |
| A3.16 | 3 972 | 4 500 | SDV – 45CA |
| A3.17 | 2 758 | 2 800 | SDV – 28CA |
| A3.18 | 2 751 | 2 800 | SDV – 28CA |
| A3.19 | 1 074 | 2 800 | SDV – 28CA |
| A3.20 | 1 071 | 2 800 | SDV – 28CA |
| A3.21 | 1 194 | 2 800 | SDV – 28CA |
| A3.23 | 2 967 | 3 600 | SDV – 36CA |

PŘÍLOHA X: SEZNAM DATOVÝCH VSTUPŮ A VÝSTUPU VÝMĚNÍKOVÉ STANICE

| Číslo | Označení | Zařízení | Funkce |
|---------------------------------|-----------|----------------|---|
| Analog inputs, analogové vstupy | | | |
| 1 | T01 | Snímač teploty | Teplota na vstupu na primární straně výměníku |
| 2 | T02 | Snímač teploty | Teplota na výstupu na primární straně výměníku |
| 3 | T03 | Snímač teploty | Teplota na výstupu na sekundární straně výměníku |
| 4 | T04 | Snímač teploty | Teplota na vstupu, vratu, na sekundární straně výměníku |
| 5 | T05 | Snímač teploty | Venkovní teplota |
| 6 – 11 | T06 – T11 | Snímač teploty | Teplota na přívodní větvi otopných okruhů |
| 12 | T12 | Snímač teploty | Teplota na výstupu ze zásobníku TV |
| 13 | P01 | Tlakový snímač | Tlak na vstupu na primární straně výměníku |
| 14 | P01 | Tlakový snímač | Tlak na výstupu na primární straně výměníku |
| 15 | P03 | Tlakový snímač | Tlak na výstupu na sekundární straně výměníku |
| 16 | P04 | Tlakový snímač | Tlak na výstupu ze zásobníku TV |
| 17 | MP01 | Průtokoměr | Měření spotřeby vody |

| Digital inputs, digitální vstupy | | | |
|----------------------------------|-----------|----------|--|
| 1 | C01 | Čerpadlo | Zpětná vazba čerpadla výměníkový okruh |
| 2 – 7 | C02 – C07 | Čerpadlo | Zpětná vazba čerpadla otopného okruhu |
| 8 | C08 | Čerpadlo | Zpětná vazba čerpadla pro ohřev TV |

| Digital outputs, digitální výstupy | | | |
|------------------------------------|-------------|------------------|---|
| 1 | RV01 | Reg. ventil | Řízení, škrcení, primární strany výměníku |
| 2 – 5 | RV02 – RV05 | Trojcest. ventil | Řízení směsi otopných okruhů |
| 6 | RV06 | Reg. ventil | Řízení, škrcení, VZT okruhu |
| 7 | RV07 | Reg. ventil | Řízení, škrcení, okruhu TV |
| 8 | RV08 | Reg. Ventil | Uzávěr vodovodního řadu |
| 9 | C01 | Čerpadlo | Čerpadlo výměníkový okruh start/stop |
| 10 – 15 | C02 – C07 | Čerpadlo | Čerpadlo otopného okruhu start/stop |
| 16 | C08 | Čerpadlo | Čerpadlo pro ohřev TV start/stop |

PŘÍLOHA XI: SEZNAM DATOVÝCH VSTUPŮ A VÝSTUPU VZT

| Číslo | Označení | Zařízení | Funkce |
|---------------------------------|----------|----------------|--------------------------------|
| Analog inputs, analogové vstupy | | | |
| 1 | T01 | Snímač teploty | Venkovní teplota |
| 2 | T02 | Snímač teploty | Teplota Přívodního vzduchu |
| 3 | T03 | Snímač teploty | Vnitřní teplota |
| 4 | H01 | Hygroskop | Vlhkost vzduchu za zvlhčovačem |

| | | | |
|----------------------------------|-----|------------|-------------------------------------|
| Digital inputs, digitální vstupy | | | |
| 1 | C01 | Čerpadlo | Zpětná vazba čerpadla přehříváče |
| 2 | C02 | Čerpadlo | Zpětná vazba čerpadla chladiče |
| 3 | C03 | Čerpadlo | Zpětná vazba čerpadla dohříváče |
| 4 | V02 | Ventilátor | Zpětná vazba ventilátoru odvodního |
| 5 | V03 | Ventilátor | Zpětná vazba ventilátoru přívodního |

| | | | |
|------------------------------------|------|------------------|--------------------------------|
| Digital outputs, digitální výstupy | | | |
| 1 | C01 | Čerpadlo | Čerpadlo přehříváče start/stop |
| 2 | C02 | Čerpadlo | Čerpadlo chladiče start/stop |
| 3 | C03 | Čerpadlo | Čerpadlo dohříváče start/stop |
| 4 | V01 | Ventilátor | Ventilátor zvlhčovače |
| 5 | V02 | Ventilátor | Ventilátor odvodní |
| 6 | V03 | Ventilátor | Ventilátor přívodní |
| 7 | RV01 | Trojcest. ventil | Řízení ventilu přehříváče |
| 8 | RV02 | Trojcest. ventil | Řízení ventilu chladiče |
| 9 | RV03 | Trojcest. ventil | Řízení ventilu dohříváče |