

Integrovaný systém v budově – Návrh rekonstrukce systému techniky prostředí hlavní tribuny fotbalového stadionu včetně vhodného řídícího a komunikačního systému

Integrated systems in buildings – The design of the reconstruction
of the environmental engineering system in a football stadium
grandstand including an appropriate control and monitoring
system

Bc. Jiří Tobolík

Diplomová práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří TOBOLÍK**
Osobní číslo: **A10358**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Integrované systémy v budovách**

Téma práce: **Integrovaný systém v budově – Návrh rekonstrukce systému techniky prostředí hlavní tribuny fotbalového stadionu, včetně vhodného řídicího a komunikačního systému**

Zásady pro vypracování:

1. Popište zázemí sportovních budov z hlediska funkčních a mikroklimatických požadavků.
2. Uveďte obecné požadavky na energetické a mikroklimatické parametry a osvětlení s aplikací na zázemí sportovních budov.
3. Uveďte možnosti řešení systémů techniky prostředí, včetně jejich řízení, monitorování a komunikace u zázemí sportovních budov.
4. Zjistěte tepelně-technické parametry konkrétní budovy a navrhnete jejich případné zlepšení tak, aby jejich vlastnosti odpovídaly legislativním předpisům.
5. Pro takto upravenou budovu navrhnete vhodný systém techniky prostředí se zvážením možnosti využití obnovitelných zdrojů energie.
6. Navrhnete vhodný systém řízení, monitorování a komunikace navrženého systému techniky prostředí s vizualizací SCADA s případnou vazbou na management budovy.
7. V případě návrhu využití obnovitelných zdrojů energie provedte technicko-ekonomické hodnocení.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. AULICKÝ, Václav, Samuel BURIAN, Zdeněk FRÁNEK, Pavel HALÍK, Miloslav JOKL, Jiří PLCH a Karel SRDEČNÝ. *Inteligentní budovy a ekologické stavby*. Praha: Nakladatelství Dr. Josef Raabe, 280. ISBN 1803-4322.
2. DANIELS, Klaus. *Technika budov: Příručka pro architekty a projektanty*. Bratislava: Jaga group, 2003, 520 s. ISBN 80-88905-60-5.
3. CHYSKÝ, Jaroslav. *Větrání a klimatizace*. Vyd. 3., zcela přeprac. Praha: Česká Matica technická, 1993, 490 s. ISBN 80-901-5740-8.
4. JELÍNEK, V., M. HOUŠKOVÁ, I. PAVLÍČEK a M. PETROVÁ. *Technická zařízení budov: Podklady pro projekty*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. ISBN 80-01-00586-0.
5. SMOLÍK, Jan. *Technika prostředí*. Praha: SNTL, 1985, 317 s.
6. PETRÁŠ, Dušan. *Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie*. Bratislava: Jaga, 2008, 207 s. ISBN 978-80-8076-069-4.
7. VALENTA, V. *Topenářská příručka 1, 2, 3*. Praha: Agentura ČSTZ, 2007. ISBN 978-80-86028-13-2.
8. ŘEHÁNEK, Jaroslav, Antonín JANOUŠ, Petr KUČERA a Jaroslav ŠAFRÁNEK. *Tepelně-technické a energetické vlastnosti budov*. Praha: Grada Publishing, 2002, 248 s. ISBN 8071695823.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Zálešák, CSc.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce:

24. února 2012

Termín odevzdání diplomové práce:

6. června 2012

Ve Zlíně dne 24. února 2012


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Úkolem práce je navrhnout vhodný systém techniky prostředí v budově hlavní tribuny fotbalové stadionu. Při návrhu tohoto systému je uvažováno využití centralizovaného zásobování teplem. Do systému pro ohřev vody je zakomponován solární systém, který umožní snížit náklady na spotřebovanou energii. Návrhu systému techniky prostředí předchází zhodnocení tepelně technických parametrů řešené budovy a návrh zlepšení těchto parametrů tak, aby tyto odpovídaly legislativních předpisům. Součástí práce je také návrh řídicího a monitorovacího systému, pro který byl po zvážení zvolen sběrníkový systém LonWorks s využitím produktů společnosti Johnson Controls.

Klíčová slova: vytápění, ohřev teplé vody, solární systém, LonWorks, SCADA

ABSTRACT

Task of this thesis is to design an appropriate system of environmental engineering in football stadium grandstand. In the design of this system is considered using a centralized heat supply. Solar system is integrated to the system for water heating. Solar system will reduce the cost of consumed energy. First, technical parameters of building were surveyed and their improvements were designed to reflect legislative regulations. Part of this thesis is also design of control and monitoring system for which was chosen LonWorks bus system and Johnson Controls products.

Keywords: heating, hot water heating, solar system, LonWorks, SCADA

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Zálešákovi, CSc. za cenné rady a odborné připomínky během tvorby mé diplomové práce.

Dále děkuji svým rodičům za neuvěřitelnou podporu během celé doby mého studia. Obrovské poděkování patří také mé přítelkyni, která mě taktéž celou dobu podporovala a byla ve všech ohledech pravou oporou.

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	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ZÁZEMÍ SPORTOVNÍCH BUDOV	12
1.1 ORGANIZAČNÍ A FUNKČNÍ ZÁZEMÍ SPORTOVNÍCH BUDOV	12
1.2 ZÁZEMÍ FOTBALOVÝCH STADIONŮ V ČR.....	15
1.2.1 Šatny pro hráče.....	15
1.2.2 Šatny pro rozhodčí	16
1.2.3 Šatna pro delegáta	16
1.2.4 Ošetrovna pro hráče a rozhodčí.....	17
1.2.5 Antidopingová vyšetřovna	17
1.2.6 Místnosti pro pracovníky sdělovacích prostředků	17
2 VNĚJŠÍ KLIMATICKÉ PODMÍNKY	18
2.1 TEPLOTA VENKOVNÍHO VZDUCHU	18
2.2 RELATIVNÍ VLHKOST VNĚJŠÍHO VZDUCHU.....	19
2.3 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ	19
2.4 RYCHLOST VĚTRU	20
2.5 SRÁŽKY.....	20
3 POŽADAVKY NA ENERGETICKÉ, MIKROKLIMATICKÉ A SVĚTELNÉ PARAMETRY	21
3.1 MIKROKLIMATICKÉ POŽADAVKY	21
3.1.1 Tepelná pohoda	21
3.1.2 Faktory ovlivňující tepelnou pohodu	24
3.1.3 Index PMV	28
3.1.4 Index PPD	29
3.1.5 Hygienická pohoda.....	30
3.1.6 Hygienické limity.....	32
3.1.7 Větrání místností	33
3.2 TEPELNĚ TECHNICKÉ A ENERGETICKÉ POŽADAVKY	36
3.2.1 Tepelně technické parametry obalových konstrukcí.....	36
3.2.2 Energetické parametry budovy	43
3.3 POŽADAVKY NA OSVĚTLENÍ	43
4 MOŽNOSTI ŘEŠENÍ SYSTÉMŮ TECHNIKY PROSTŘEDÍ	47
4.1 VYTÁPĚCÍ SYSTÉMY	47
4.2 VĚTRÁNÍ SYSTÉMY	50
4.2.1 Přírozené větrání	50
4.2.2 Nucené větrání	50
4.3 VYUŽITÍ OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE	52
4.3.1 Tepelná čerpadla	52
4.3.2 Solární kolektory	54
5 KOMUNIKAČNÍ SBĚRNICE A PROTOKOLY V AUTOMATIZACI BUDOV	57

5.1	SBĚRNICE KNX.....	57
5.1.1	Přenosová média	58
5.1.2	Topologie systému	59
5.1.3	Prvky KNX.....	61
5.1.4	Komunikace u KNX.....	62
5.1.5	Programování systémů KNX	63
5.2	SBĚRNICE LONWORKS	64
5.2.1	Přenosová média a topologie	64
5.2.2	LonTalk protokol	65
5.2.3	Neuronový čip	66
II PRAKTICKÁ ČÁST		67
6	POPIS OBJEKTU	68
6.1	PŮVODNÍ STAV BUDOVY	69
6.2	NÁVRH ZATEPLENÍ BUDOVY	73
6.2.1	Zateplení vnější stěny.....	73
6.2.2	Technologický postup zateplení vnější stěny.....	74
6.2.3	Zateplení ploché střechy	76
6.2.4	Výměna oken	76
6.3	PODMÍNKY NÁVRHU	77
7	VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT.....	79
7.1	UKÁZKA VÝPOČTU TEPELNÝCH ZTRÁT MÍSTNOSTI 1.19	80
7.1.1	Výpočet návrhové tepelné ztráty prostupem tepla	80
7.1.2	Výpočet návrhové tepelné ztráty větráním.....	84
7.1.3	Výpočet celkové návrhové tepelné ztráty místnosti 1.19.....	85
7.1.4	Výpočet tepelného zátopového výkonu	85
7.1.5	Stanovení návrhového tepelného výkonu pro vytápěný prostor	85
7.2	NÁVRHOVÝ TEPELNÝ VÝKON BUDOVY.....	86
8	NÁVRH VÝMĚNÍKOVÉ STANICE	87
8.1	OTOPNÁ SOUSTAVA.....	89
8.1.1	Dimenzování výměníku horká voda – teplá voda.....	90
8.1.2	Dimenzování oběhových čerpadel a návrh třicestných ventilů.....	92
8.1.3	Zabezpečovací zařízení otopné soustavy	97
8.1.4	Návrh otopných těles.....	100
8.2	PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY.....	102
8.3	SOLÁRNÍ SYSTÉM	109
8.3.1	Hydraulické zapojení solárního systému	112
8.3.2	Návrh externího výměníku tepla	113
8.3.3	Návrh zabezpečovacích zařízení solárního systému	114
9	NÁVRH ŘÍDICÍHO A MONITOROVACÍHO SYSTÉMU BUDOVY.....	116
9.1	ŘÍDICÍ A MONITOROVACÍ SYSTÉM OHŘEVU TEPLÉ VODY	116
9.2	ŘÍDICÍ A MONITOROVACÍ SYSTÉM VYTÁPĚCÍHO SYSTÉMU	119
9.3	VOLBA ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ	122
9.3.1	Řízení výměníkové stanice	122
9.3.2	Místní ovládání teploty	123

9.4	KOMUNIKAČNÍ BRÁNA	125
10	VIZUALIZACE SYSTÉMU	126
11	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ SOLÁRNÍHO SYSTÉMU.....	127
	ZÁVĚR	132
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	134
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	136
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	139
	SEZNAM OBRÁZKŮ	140
	SEZNAM TABULEK.....	142
	SEZNAM PŘÍLOH.....	144

ÚVOD

Neustále rostoucí ceny energií a také snaha o šetrnější zacházení s přírodními zdroji se promítají do každodenního života celé společnosti. Nejinak je tomu ve stavebnictví a u oborů s ním úzce spojených. Výsledkem je snaha o snižování energií při zachování veškerého komfortu, na který jsou uživatelé budov zvyklí. Možnosti snižování energií potřebných k ohřevu teplé vody a vytápění lze prakticky rozdělit na dva zásadní směry. Tím prvním je tzv. pasivní snižování spotřeby energie potřebné k vytápění budovy, a to pomocí zlepšování tepelně-technických vlastností obalových konstrukcí budov. K zateplení vnějších konstrukcí je nejčastěji využíváno polystyrenu nebo minerální vlny. Druhý způsob snižování spotřeby energie je označován jako aktivní a myslí se jím využívání alternativních zdrojů energie. Těmito se v daném kontextu myslí převážně využívání solárních kolektorů, tepelných čerpadel či fotovoltaických panelů. Aby bylo navržené řešení opravdu efektivní, musí být aktivní a pasivní systém snižování spotřeby energie navrhován v těsné součinnosti.

Dosud uvedené možnosti ovšem sami o sobě nestačí k opravdu dokonalému řešení. Toho lze dosáhnout pouze s použitím kvalitní regulace všech systémů, které jsou v budově obsaženy. Kvalitní regulace ve své funkci odráží nejen požadavky na vnitřní prostředí, ale také bere v úvahu aktuální vnější klimatické podmínky a na jejich základě upravuje chod systémů techniky prostředí tak, aby byl co nejvíce hospodárný. Řešením tedy může být samostatná regulace jednotlivých technologických systémů. U této alternativy je zřejmé, že počet samostatných regulací bude záviset na počtu systémů v budově. Tyto regulace však nebudou schopné mezi sebou spolupracovat.

Trendem je tedy integrace všech regulačních systémů do centrálního řídicího a monitorovacího systému, který dohlíží na veškeré regulační pochody v budově. Tento systém může být koncipován pouze jako logické a funkční propojení již zmíněných řídicích systémů nebo se může jednat o jeden rozsáhlý komplexní řídicí a monitorovací systém.

Výhody integrovaného systému jsou zřejmé a jsou umocněny možnostmi ovládnání celého systému z jednoho místa nebo prostřednictvím vzdáleného přístupu přes webové rozhraní. Integrace systémů je tedy tím správným řešením. Vývoj inteligentních budov se bude i nadále rozvíjet a poskytovat tak uživatelům stále jednodušší a efektivnější možnosti využívání jejich budov.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁZEMÍ SPORTOVNÍCH BUDOV

Pod pojmem sportovní budova se rozumí objekt, jenž je alespoň z části využíván ke sportovním účelům. Součástí takového objektu je tedy sportoviště, kterým může být klasická tělocvična, víceúčelová hala, posilovna, krytá střelnice, temperovaný velodrom, ledová plocha, krytý bazén, aquapark, tenisový či squashový kurt. Takové sportoviště nemůže v budově existovat ale jen tak samo o sobě a vyžaduje další zázemí, bez kterého se sportovci nemohou obejít.

V teoretické části diplomové práce je pozornost věnována sportovním budovám, které jsou využívány profesionálními sportovními kluby. Tyto budovy jsou tedy využívány profesionálními sportovci, realizačním týmem, managementem klubu či správcem komplexu a jejich zázemí je pro širokou veřejnost nepřístupné. Popisováno je tedy převážně zázemí tribun fotbalových stadionů, zimních stadionů či sportovních hal určených pro házenou, volejbal či košíkovou. Naopak v úvahu nejsou brána zařízení, jako aquapark či plavecký bazén, která jsou využívána širokou veřejností a jejich funkční požadavky jsou odlišné.

1.1 Organizační a funkční zázemí sportovních budov

Jak již bylo zmíněno, součástí sportovní budovy je sportoviště a další nezbytné zázemí pro sportovce. Budovy určené pro sportování je však možno vnímat z ještě obecnějšího hlediska. Pokud na takové budovy pohlédneme z tohoto hlediska, zjistíme, že v naprosté většině je zázemí součástí těchto budov složeno z více funkčních částí:

- administrativní
- ubytovací
- restaurační
- sportovní
- provozní (technická)
- energetická

Na každou z těchto částí budovy jsou pak z pohledu zákonů, vyhlášek a norem kladeny různé požadavky týkající se techniky prostředí staveb či hygienických předpisů. Hodnocení budov po energetické stránce je tak výsledkem poměrně složitých výpočtů. Dále v textu budou popsány funkční požadavky na tyto jednotlivé části.

Administrativní část

Administrativní prostory jsou využívány managementem budovy či managementem sportovního klubu a jsou tvořeny převážně kanceláři, ale také zasedacími místnostmi. Na tyto prostory se pak z pohledu normy nahlíží jako na součásti administrativních budov a požadavky na jejich vnitřní prostředí jsou stejné. Administrativní část sportovních budov je využívána převážnou část roku.

Ubytovací část

Velmi často je součástí sportovních budov také ubytovací část, určená pro správce celého objektu. Tyto ubytovací prostory jsou tedy využívány celoročně. Ubytovací prostory mohou být využívány také členy realizačního či hráčského týmu, a to ke krátkodobým či dlouhodobým pobytům. Na tyto prostory jsou tak z pohledu požadavků na vnitřní prostředí kladeny stejné požadavky jako na obytné budovy.

Restaurační část

Restaurační zařízení bývají také velmi často součástí sportovního komplexu a jsou využívána pro stravování sportovců, kteří ve sportovním komplexu tráví velkou část dne. Pro profesionální kluby je provozování restauračního zařízení výhodné z pohledu možnosti ovlivnění stravování svých hráčů. Velmi často je však restaurační zařízení využíváno i pro veřejnost. Součástí těchto prostor je tedy kuchyně, jídelna pro veřejnost a také samostatná jídelna určená pro členy sportovního klubu.

Sportovní část

Jak již bylo zmíněno, pozornost je věnována převážně zázemí budov využívaných fotbalisty, hokejisty, házenkáři, volejbalisty či basketbalisty. Prostory určenými ke sportování tedy mohou být klasická víceúčelová tělocvična či hala, posilovna či ledová plocha. Všechny tyto prostory mají specifické požadavky na vnitřní mikroklima. Společným jmenovatelem je ale další zázemí, které hráči potřebují, aby mohla být jejich sportovní činnost prováděna kvalitně a na co nejvyšší úrovni.

Součástí tohoto zázemí jsou bezesporu převlékácké šatny, sprchy, umývárny, masérny, prostory pro regeneraci a samozřejmě i sociální zařízení. Co se týče regenerace, existuje poměrně široká škála prostředků, jejichž pomocí sportovci regenerují. V rámci regeneračních linek se tedy můžeme setkat s prostory určenými pro různé vodní procedury, do kterých patří například vířivá vana, bazénky s teplou vodou či střídavá koupel nohou.

Dalším velice často využívaným regeneračním prostředkem je suchá sauna či parní kabina, ke kterým neodmyslitelně patří bazénky s velmi chladnou vodou.

Všechny tyto regenerační procedury jsou však poměrně energeticky náročné, a proto je nutné hledat maximálně efektivní způsob dodávky a řízení energie.

Sportovní zázemí u profesionálních či poloprofesionálních klubů je hráči využíváno v závislosti na časovém průběhu sezóny, která se dělí do několika základních bloků:

- přípravné období
- hlavní období
- přechodné období
- dovolená

Počet a délka jednotlivých období se liší sport od sportu. Důležitým výstupem pro tuto diplomovou práci ale je, že sportovní zázemí je využíváno podstatnou část roku téměř každý den. Standardem bývá jeden volný den v týdnu, zpravidla v den následující po utkání či dva dny po odehraném utkání.

Provozní (technická) část

Jako v každé jiné budově, je i ve sportovních budovách nutné zajistit úklid, servis a jiné provozní činnosti související s každodenním využíváním budovy. K tomuto účelu musí v budově existovat odpovídající zázemí. Tímto zázemím jsou myšleny prostory, jež jsou využívány uklízečkami či správcem budovy pro jejich potřeby. Do provozního zázemí může dále patřit sklad určený pro sportovní pomůcky, oblečení apod.

V neposlední řadě patří do provozního zázemí prádelna či sušárna. U profesionálních klubů je téměř vždy kladen požadavek na každodenní praní sportovního oblečení využívaného samotnými sportovci. Vyprané prádlo by také mělo být připraveno k dalšímu využití již na druhý den, což musí být při návrhu sušárny vždy reflektováno.

Energetická část

Pro tuto diplomovou práci se jedná o velmi důležitou a zajímavou část budovy, protože se jedná o prostory určené pro umístění veškerých technologických systémů vyskytujících se v dané budově.

V takových prostorech jsou tedy umístěny zdrojové části těchto systémů:

- ohřev teplé vody
- vytápěcí soustava
- vzduchotechnika
- elektro

1.2 Zázemí fotbalových stadionů v ČR

Sportovní budovou se v této kapitole myslí hlavní tribuna fotbalového stadionu, jež je využíván fotbalovým oddílem hrajícím Gambrinus ligu nebo 2. ligu FAČR, tedy dvě nejvyšší soutěže pořádané Fotbalovou asociací České republiky (FAČR).

Požadavky na zázemí těchto sportovních budov z hlediska funkčních požadavků vychází z několika dokumentů týkajících vybavenosti ligových stadionů, a to:

- UEFA Stadium Infrastructure Regulations – Edition 2010
 - platnost od 1. 5. 2010
- Projekt ligové stadiony 2012
 - schváleno Výkonným výborem FAČR dne 25. 5. 2007
- Licenční manuál (kritérium Infrastruktura)
 - schváleno orgány FAČR a UEFA

Tyto dokumenty se věnují veškerým náležitostem týkajících se fotbalových stadionů, např. bezpečnosti, evakuačnímu plánu, monitorovacímu systému, kapacitě diváků, sedadel pro diváky, osvětlení, zařízení pro první pomoc, hrací plochy, hřiště, rozdělení sektorů, přístupu na hrací plochu, střídaček, šaten, místnosti pro dopingové testy, místnosti lékařské a první pomoci, návštěvního řádu, sanitárního zařízení, zařízení pro tisk a média, občerstvovacího zařízení, parkování, oddělení diváků od hrací plochy atd.

Pro tuto diplomovou práci jsou ale zajímavé pouze požadavky týkající se vnitřních prostor hlavní tribuny.

1.2.1 Šatny pro hráče

Stadion musí mít dvě stejně veliké, samostatné šatny pro hráče hostů a domácích. Každá tato šatna by měla mít minimální podlahovou plochu o výměře 100 m², resp. 80 m² pro

2. ligu, a měla by se skládat ze čtyř místností (vlastní šatna, místnost maséra, WC a umývárna se sprchami). Šatna má být vybavena lavicemi a věšáky (skříňkami) pro 25 hráčů, dvěma masérskými stoly, názornou tabulí, stolem, židlemi, ledničkou a elektrickou zásuvkou. Toaleta musí obsahovat dvě záchodové mísy a tři pisoáry. Součástí umývárny se sprchou je minimálně pět sprchovacích míst a dvě umyvadla.

Pro nekonfliktní provoz je dobré, když na šatnu plynule navazují: místnost maséra, poté WC a nakonec sprchy. Vzhledem k vyšším návrhovým teplotám u všech těchto druhů místností je bezprostřední návaznost těchto prostor efektivní i z pohledu řízení energií a omezují se tak tepelné ztráty prostupem do méně vytápěným prostor. Členění zmíněných místností se doporučuje následující:

- šatna – minimálně 50 m²
- místnost maséra - 12 m²
- WC – 6 m²
- umývárna se sprchami – 12 m²

Šatna domácích je pak ve většině případů vybavena i dalšími prostory:

- kompletní regenerace (vířivá vana, sauna, bazén s chladnou vodou apod.)
- klubovna (odpočívárna)

1.2.2 Šatny pro rozhodčí

Šatna pro rozhodčí se musí skládat minimálně ze dvou místností o celkové výměře 24 m². Tato šatna musí být oddělena od šaten týmů, ale měla by být umístěna v bezprostřední blízkosti šatny domácích. Vzhledem k tomu, že šatna slouží pro převlékání rozhodčích, je i u těchto prostor stanovena vyšší návrhová vnitřní teplota. Na druhou stranu se jedná o prostory, které jsou využívány maximálně jedenkrát za týden, tudíž jsou po většinu času vytápěny na nižší teplotu, než vyžaduje norma.

1.2.3 Šatna pro delegáta

Šatna pro delegáta utkání musí mít minimální výměr 16 m² a musí být vybavena samostatným WC s umyvadlem. Tato šatna musí být oddělena od šaten týmů a rozhodčích, ale měla by být v jejich blízkosti. Šatna pro delegáta je další z místností, které jsou využívány maximálně jednou týdně, proto je vhodné umístit šatnu rozhodčích a šatnu delegáta vedle sebe, čímž je opět zajištěna efektivita využívání energie na vytápění.

1.2.4 Ošetřovna pro hráče a rozhodčí

Lékařská vyšetřovací místnost pro hráče a rozhodčí musí být umístěna v bezprostřední blízkosti týmových šaten a hrací plochy. Jelikož je tato místnost využívána velmi málo, bývá standardem, že je pro tyto účely v případě potřeby využita masérna. Z pohledu řízení energie na vytápění je toto spojení opět výhodné.

1.2.5 Antidopingová vyšetřovna

Prostor pro dopingové testy se musí skládat ze tří místností o celkové výměře 24 m². Součástí antidopingové vyšetřovny musí být čekárna, samotná vyšetřovna a hygienická buňka. Využití těchto prostor je opět nepravidelné.

1.2.6 Místnosti pro pracovníky sdělovacích prostředků

Součástí požadavků na fotbalové stadiony klubů hrajících první či druhou ligu jsou také prostory určené pro pracovníky sdělovacích zařízení. Konkrétně se jedná o tzv. presscentrum s plochou místnosti minimálně 75 m² pro první ligu, resp. 50 m² pro 2. ligu.[1][2]

2 VNĚJŠÍ KLIMATICKÉ PODMÍNKY

Vnější klimatické podmínky zásadním způsobem ovlivňují všechny vybudované stavby. Na stavby jsou proto kladeny různorodé požadavky, které mají zaručit, že je stavba schopná odolat těmto klimatickým podmínkám po celou dobu její životnosti. V každé stavební lokalitě mohou být klimatické podmínky specifické a při projektování stavby je nutné brát na tyto specifika ohled. [3][4]

Mezi hlavní faktory tvořící vnější prostředí patří:

- teplota vnějšího vzduchu
- relativní vlhkost vnějšího vzduchu
- sluneční záření
- rychlost větru
- srážky

2.1 Teplota venkovního vzduchu

Vnější teplota je oproti vnitřní teplotě velmi proměnlivá. Pro účely posuzování konstrukcí se využívá *návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období* θ_e [°C] dle normy ČSN 73 0540. Z tohoto pohledu je území České republiky rozděleno do čtyř teplotních oblastí. Pro výpočet tepelných ztrát, tedy pro návrh vytápění budov, je využívána takzvaná *výpočtová venkovní teplota* θ_e [°C], kterou stanovuje norma ČSN EN 12831. Celé území ČR je dle této normy rozděleno z hlediska vytápění do tří teplotních oblastí s různou výpočtovou venkovní teplotou:

- oblast s $\theta_e = -12$ °C
- oblast s $\theta_e = -15$ °C
- oblast s $\theta_e = -18$ °C

Norma stanovující venkovní výpočtovou teplotu uvažuje také nadmořskou výšku a pro lokality položené v nadmořské výšce větší než 400 m. n. n. snižuje tuto teplotu o 3 °C.

Tabulka 1: Snižování výpočtové venkovní teploty s ohledem na nadmořskou výšku [5]

Nadmořská výška	Venkovní výpočtová teplota θ_e [°C]	Snížená venkovní výpočtová teplota θ_e [°C]
nad 400 m. n. m.	-12	-15
nad 600 m. n. m.	-15	-18
nad 800 m. n. m.	-18	-21

2.2 Relativní vlhkost vnějšího vzduchu

Relativní vlhkost vnějšího vzduchu φ_e [%] poměrně úzce souvisí s teplotou venkovního vzduchu θ_e [°C]. Relativní vlhkost vzduchu je typicky vyšší v zimě. Avšak pro množství vodní páry ve vzduchu platí díky vyšším letním teplotám trend přesně opačný. V následující tabulce je tato závislost uvedena.

Tabulka 2: Relativní vlhkost vnějšího vzduchu

Teplota θ_e [°C]	Relativní vlhkost φ_e [%]
-21	85
-18	85
-15	84
-10	83
-5	82
0	81
5	79
10	76
15	73
20	68
25	59

2.3 Sluneční záření

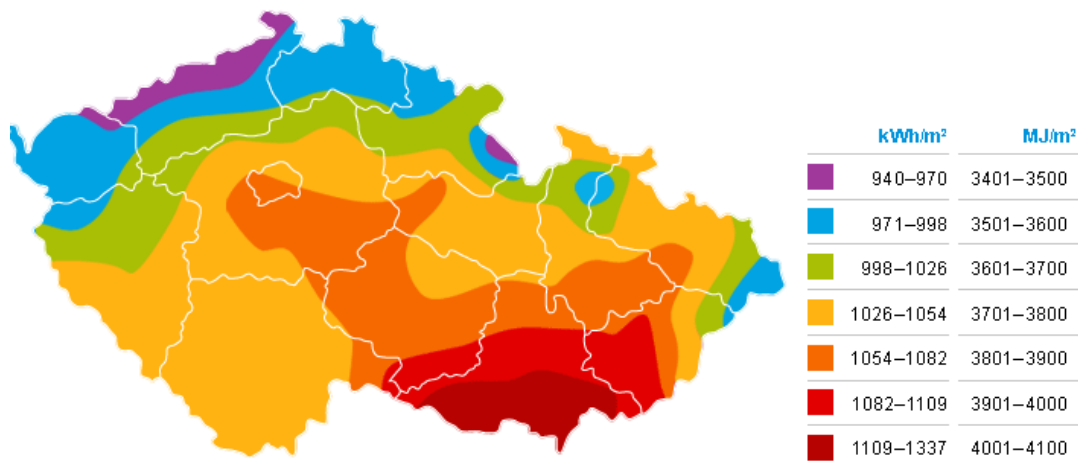
Sluneční záření je velmi důležitý faktor, který ovlivňuje téměř všechny pochody probíhající v atmosféře. Pro tuto práci je taktéž důležitým faktorem ovlivňujícím tepelně-technické a energetické požadavky na budovu. Sluneční záření jako takové lze rozdělit na sluneční záření přímé a rozptýlené (difúzní). Rozptýlené záření vzniká následkem rozptylu přímých slunečních paprsků na molekulách plynných složek vzduchu, na kapkách vody, ledových krystalcích a různých aerosolových částicích vyskytujících se v ovzduší.

Sluneční záření je vlastně elektromagnetické vlnění, jehož spektrum lze rozdělit na:

- infračervené ($\lambda > 750 \text{ nm}$)
- viditelné
- ultrafialové ($\lambda < 400 \text{ nm}$)

Využití slunečního záření může být provedeno jak pasivním, tak i aktivním způsobem. Pasivním využitím je myšleno využití sluneční energie jako zdroje tepelných zisků budovy v zimním období. Naopak v letním období může být sluneční energie nepříjemným zdrojem tepelné zátěže. Aktivně může být sluneční energie využita pomocí slunečných

kolektorů či fotovoltaických článků, jejichž možný přínos bude řešen v praktické části této práce.



Obrázek 1: Průměrný roční úhrn globálního záření [6]

2.4 Rychlost větru

Rychlost větru ovlivňuje tepelné ztráty budovy jednak v důsledku přenosu tepla na vnější straně stavebních konstrukcí a jednak výměnu vzduchu infilrací. Průměrná rychlost větru v ČR je kolem 3 m/s. Stejně jako u teploty a slunečního záření, je území i z pohledu rychlosti větru rozděleno do oblastí v závislosti na členitosti terénu a nadmořské výšce:

- normální krajina
- krajina s intenzivními větry

Pro oba typy oblasti dále rozlišujeme tři případy polohy budovy v krajině

- chráněná
- nechráněná
- velmi nepříznivá

2.5 Srážky

Poslední uvedený faktor ovlivňující vnější prostředí, tedy srážky resp. jejich množství, nemají vliv na spotřebu energie při vytápění a chlazení. Množství srážek však může ovlivnit vlhkost vzduchu, která může při vyšších hodnotách působit problémy se zvyšováním vlhkosti ve stavebních konstrukcích.

3 POŽADAVKY NA ENERGETICKÉ, MIKROKLIMATICKÉ A SVĚTELNÉ PARAMETRY

3.1 Mikroklimatické požadavky

Vnitřní prostředí budov je část životního prostředí vymezená stavebními konstrukcemi (neprůsvitnými i průsvitnými) v těsné součinnosti s technikou prostředí, a to tak, aby člověk – uživatel interiéru – měl pocit tepelné pohody. Charakteristickým znakem vnitřního prostředí je, že je uměle vytvořeno člověkem s cílem vyloučit či přiměřeně zmenšit vliv vnějšího prostředí na člověka či technologický postup. [7]

Vnitřní prostředí je charakterizováno pomocí následujících parametrů

- teplotní podmínky
- vlhkostní podmínky
- čistota a hygiena vzduchu
- akustické podmínky
- světelné podmínky

3.1.1 Tepelná pohoda

Tepelnou pohodou rozumíme takový stav prostředí, při němž člověk nepocituje chlad ani nadměrné teplo – člověk se tedy cítí příjemně. Jiná definice říká, že tepelnou pohodou se označuje stav, kdy prostředí odnímá člověku jeho tepelnou produkci bez výrazného (mokrého) pocení. Takového stavu je dosaženo tehdy, existuje-li tepelná rovnováha mezi teplem vyprodukovaným lidským tělem a jeho tepelnými ztrátami. Prostor, ve kterém je dosaženo tepelné pohody, umožňuje zpravidla podávat optimální pracovní výkon.

Lidské tělo udržuje za všech podmínek (pokud není nemocné) přibližně stálou teplotu 36,5 až 37 °C vnitřní termoregulací, běžně neovlivnitelnou nervovou soustavou člověka. Biochemickými reakcemi – oxidací potravy (bílkovin, tuků a uhlohydrátů) vdechovaným vzdušným kyslíkem, vytváří se v těle teplo, které musí být odváděno okolím. V klidném spánku je základní tepelná produkce člověka $\dot{q} = 44 \text{ W/m}^2$, objemový průtok vzduchu plicemi 0,14 l/s (0,5 m³/h). Tepelná produkce i průtok vdechovaného vzduchu se zvětšují s intenzitou fyzické činnosti. [8]

Lidské tělo je tedy nepřetržitým zdrojem tepla a tato metabolická produkce může být rozdělena do dvou skupin:

- bazální metabolismus (tepelná produkce) – teplo je produkováno na základě biologických procesů, jako je zpracování potravy či funkce vnitřních orgánů
- svalový metabolismus (mechanický výkon) – vzniká při činnosti člověka a množství vydané energie závisí na náročnosti a intenzitě vykonávání této činnosti

Celkový výdaj energie člověkem lze tedy zapsat následně

$$\dot{Q}_m = \dot{Q} + P$$

Podíl mechanického výkonu a celkového výdaje energie je mechanická účinnost člověka $P/\dot{Q}_m = \eta$, takže $\dot{Q}_m \cdot (1 - \eta) = \dot{Q}$. Nekoná-li člověk mechanickou práci (např. chůzi po rovině), je účinnost nulová. Ve zvláštních případech (šlapání na kolovém ergometru) dosahuje účinnost až 0,25. Při výrobní činnosti tepelná produkce i účinnost rostou s intenzitou práce. [8]

Tepelná produkce se vztahuje k povrchu lidského těla (neoblečeného) $\dot{Q}/A_D = \dot{q}$, který závisí na hmotnosti M [kg] a výšce H [m] člověka (vztah dle DuBoise)

$$A_D = 0,2 \cdot M^{0,425} \cdot H^{0,725}$$

Střední povrch těla dospělých mužů je asi 1,9 m² (člověk 1,75 m vysoký, hmotnost 75 kg). U žen je tato hodnota přibližně 1,75 m².

Pro vyjádření hodnoty metabolismu byla zavedena jednotka met. Hodnota 1 met představuje metabolické teplo produkované člověkem při lehké práci (v sedě) vztažené na DuBois plochu, tedy 58,2 W/m².

Tabulka 3: Celková produkce tepla člověka při různých činnostech [9]

Činnost	Stupeň aktivity	Metabolismus \dot{q}_m			Účinnost lidské práce
		W/m^2	met	W	
Spánek	I	40		70	0
Klidné ležení na posteli		46	0,8	80	
Odpocinek v poloze vsedě		58	1,0	100	
Uvolněné stání nebo lehká práce vsedě (úřady, školy, byty, laboratoře)		70	1,2	120	
Stání, lehká práce (obchody, laboratoře, lehký průmysl)	II	93	1,6	155 – 206	0 až 0,1
Střední fyzická práce (domácnost, práce na strojích)	III	116	2,0		0,1 až 0,2
Těžká fyzická práce (těžká práce na strojích)	IV	165	2,8	240 – 447	0,1 až 0,2

Hodnoty metabolismu jsou v tabulce uvedeny pomocí měrného tepelného výkonu na jednotku plochy lidského těla [$W \cdot m^2$] a také pomocí tepelného výkonu [W], přičemž je uvažováno, že průměrná velikost povrchu člověka je $1,72 m^2$.

Tabulka 4: Celková produkce tepla člověkem u různých sportů

Činnost	$[W \cdot m^{-2}]$	$[W]$
Tanec	140 – 260	240 – 447
Gymnastika	170 – 230	292 – 395
Tenis	až 350	až 600
Squash	až 410	až 705
Chůze po rovině 3 km/h	110	190
Chůze po rovině 5 km/h	180	310
Chůze po rovině 9 km/h	380	654

Výměna tepla s okolím nastává

- vedením (kondukcí)
- prouděním (konvekcí)
- sáláním (radiací)
- vypařováním
- dýcháním

Obecněji lze výdej tepla rozdělit na teplo

- citelné (suché)
- latentní (vlhké)

Velikost tepelných ztrát lidského těla závisí na možnosti odevzdávání tepla do okolního prostředí. Rovnice tepelné rovnováhy pro lidské tělo má tedy následující tvar

$$\dot{Q}_{vypr} = \dot{Q}_{ztr}$$

Pokud se do rovnice dosadí jednotlivé tepelné toky, vznikne rovnice tepelné rovnováhy (rovnice tepelné pohody) ve tvaru [7]

$$\dot{Q}_{vypr} = \pm \dot{Q}_{kd} \pm \dot{Q}_k \pm \dot{Q}_s + \dot{Q}_d + \dot{Q}_w \pm \dot{Q}_a$$

kde

\dot{Q}_{vypr} je celková tepelná produkce v lidském těle [W]

\dot{Q}_{kd} – tepelný tok vedením (zpravidla se zanedbává)

\dot{Q}_k – tepelný tok prouděním

\dot{Q}_d – tepelný tok odváděný dýcháním

\dot{Q}_w – tepelný tok vyvolaný vypařováním (difúze pokožky, běžné pocení)

\dot{Q}_a – tepelný tok akumulovaný v těle (zpravidla se zanedbává)

3.1.2 Faktory ovlivňující tepelnou pohodu

Faktory, které ovlivňují tepelnou bilanci organismu (a tím zároveň i tepelnou pohodu) lze rozdělit do tří skupin

- a) vnitřní prostředí
 - teplota vzduchu
 - radiační teplota
 - vlhkost vzduchu
 - rychlost proudění vzduchu a jeho turbulence
- b) osobní faktory
 - hodnota metabolismu
 - oblečení
- c) doplňující faktory
 - jídlo a pití
 - aklimatizace (adaptace na venkovní klima)

- aklimace (adaptace na vnitřní prostředí)
- tělesná postava
- podkožní tuk
- věk a pohlaví

Parametry vnitřního prostředí

Teplota vzduchu θ_i je teplota interiérového vzduchu bez vlivu sálání z okolních povrchů.

Poklesne-li účinná teplota okolních ploch (dnes střední radiační teplota) o 1 K, hodnotí to člověk sedící v klidu stejně, jako když poklesne o 1 K teplota vzduchu. Teplota vzduchu a teplota okolních ploch mají tedy z hlediska zajištění tepelné pohody přinejmenším stejnou důležitost. Čím menší rozdíl tyto dvě teploty vykazují, tím je vliv na pohodu prostředí příznivější. Rozdíl obou teplot by neměl být, při zajištění optimálního stavu, větší jak 3 K. Takového stavu se však dosahuje nelehko. Chladné stropy či teplé stěny vždy příznivěji hodnoceny než teplé stropy a chladné stěny. Tento poznatek nás vede k současnému směru vývoje, kdy se objekty zateplují a tak se nejen snižují tepelné ztráty prostupem, ale zvyšuje se i povrchová teplota obvodových stěn.

Střední radiační teplota θ_r je rovnoměrná teplota pomyslného vymezeného prostoru, ve kterém se přenos tepla sáláním z lidského těla rovná sdílení tepla sáláním ve skutečném nerovnoměrném prostředí.

$$\theta_r = \left[(\theta_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0,6} \cdot (\theta_g - \theta_a) \right]^{\frac{1}{4}} - 273$$

kde

θ_g je teplota kulového teploměru

v_a je rychlost proudění vzduchu [m/s]

θ_a je teplota vzduchu

Teplota kulového teploměru (výsledná teplota) je parametr tepelného stavu vnitřního prostředí zahrnující vliv současného působení teploty vnitřního vzduchu, vnitřní povrchové teploty jednotlivých stavebních konstrukcí a výplní otvorů vymežujících vnitřní prostor a rychlost a rychlost proudění vnitřního vzduchu

Přibližně je možno nahradit výslednou teplotu kulového teploměru tzv. účinnou teplotou okolních ploch θ_u

$$\theta_u = \frac{\sum A_i \cdot \theta_{Ai}}{\sum A_i}$$

kde

A_i je plocha i-té stěny [m^2]

θ_{Ai} je povrchová teplota i-té stěny [$^{\circ}C$]

POZNÁMKA: Střední radiační teplota se rovná přibližně teplotě výsledného kulového teploměru tehdy, je-li myšlena sedící osoba a rychlost proudění vnitřního vzduchu $v_a = 0,2 m \cdot s^{-1}$.

POZNÁMKA: Účinná teplota okolních ploch je myšlená společná teplota všech okolních ploch, při níž by byl sáláním sdílený tok tepla mezi povrchem oděvu a okolními plochami stejný jako ve skutečnosti.

Operativní teplota θ_o je definována jako teplota izometrické plochy vymežující pomyslný prostor, ve kterém se přenos tepla sáláním a prouděním z lidského těla rovná přenosu tepla sáláním a prouděním ve skutečném nerovnoměrném prostředí. Vypočítaná hodnota je výsledkem působení všech tepelných složek prostředí a vlivu rychlosti proudění vzduchu.

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

kde

θ_r je střední radiační teplota [$^{\circ}C$]

θ_a je teplota vzduchu [$^{\circ}C$]

A je funkce rychlosti proudění vzduchu [-]

Tabulka 5: Závislost součinitele A rychlosti proudění vzduchu v_a

$v_a [m \cdot s^{-1}]$	0,2	0,3	0,4	0,8	1,0
$A [-]$	0,5	0,6	0,65	0,7	1,0

Efektivní teplota θ_{ef} je teplota prostoru při relativní vlhkosti 50 %, která způsobí stejné celkové tepelné ztráty z pokožky jako ve skutečném prostředí. Dva prostory se stejnou

efektivní teplotou vyvolávají stejné reakce organismu, i když tyto prostory mají rozdílnou teplotu i vlhkost vzduchu. Podmínkou je však stejná rychlost proudění vzduchu.

Relativní vlhkost vzduchu φ udává nasycení vzduchu vodní parou. Přesněji je to poměr mezi okamžitým množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím par, které by měl vzduch o stejném tlaku a teplotě při plném nasycení. Při relativní vlhkosti vzduchu pod 35 se projevuje zvýšená prašnost a pod hodnotou 45 % se může vytvářet elektrostatický náboj. Při vysoké relativní vlhkosti se zase zvyšuje riziko vzniku a šíření plísní. Na množství vodních par obsažených ve vzduchu závisí také schopnost ochlazování organismu odpařováním potu. Jestliže je v prostředí vysoká relativní vlhkost, není již vzduch schopen vlhkost vzniklou odpařováním pohlcovat, čímž může dojít k přehřátí organismu. Lze tedy konstatovat, že se zvyšující se teplotou vzduchu by se měla snižovat relativní vlhkost vzduchu. [10]

Rychlost proudění vzduchu v_a ovlivňuje přenos tepla prouděním a odpařování vlhkosti z pokožky. U rychlostí vzduchu nad $0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ se může vyskytnout u lidí pocit průvanu.

Tabulka 6: Optimální podmínky vnitřního mikroklimatu pro obytné prostory

Parametr vnitřního prostoru	Zimní období (1 clo)	Letní období (0,5 clo)
Operativní teplota	20 ÷ 24 °C	23 ÷ 26 °C
Rozdíl teploty vzduchu mezi kotníky a hlavou	< 3K	< 3K
Teplota podlahy	19 ÷ 26 °C	-
Teplota podlahy při využití podlahového vytápění	29 °C	-
Asymetrie povrchové teploty svislých ploch	10 K	-
Asymetrie povrchové teploty vodorovných ploch	5 K	-
Relativní vlhkost vzduchu	30 ÷ 70 %	30 ÷ 70 %
Rychlost proudění vzduchu	0,13 ÷ 0,20 m/s	0,16 ÷ 0,25 m/s

POZNÁMKA: Oděv o tepelném odporu označovaném hodnotou $R_{cl} = 1 \text{ clo}$ odpovídá hodnotě $R_{cl} = 0,155 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Pro oděv odpovídající hodnotě $R_{cl} = 0,5 \text{ clo}$ platí $R_{cl} = 0,078 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

3.1.3 Index PMV

Index PMV (Predicted Mean Vote) je ukazatel, který předpovídá střední tepelný pocit velké skupiny osob. Index PMV lze stanovit na základě kvalifikovaného odhadu energetického výdeje člověka, hodnoty tepelného odporu oděvu a měření míněných faktorů prostředí. Rovnice pro výpočet středního tepelného pocitu PMV vypadá následovně

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-0,036 \cdot M} + 0,028) \cdot \{(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99(M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - \theta_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(\theta_{cl} + 273)^4 - (\theta_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (\theta_{cl} - \theta_a)\}$$

když platí

$$\theta_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - R_{cl} \cdot \{3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(\theta_{cl} + 273)^4 - (\theta_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (\theta_{cl} - \theta_a)\}$$

$$h_c = 2,38 \cdot (\theta_{cl} + \theta_a)^{0,25} \text{ pro } 2,38 \cdot (\theta_{cl} - \theta_a)^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v_a}$$

$$h_c = 12,1 \cdot \sqrt{v_a} \text{ pro } 2,38 \cdot (\theta_{cl} - \theta_a)^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{v_a}$$

$$f_{cl} = 1 + 1,29 \cdot R_{cl} \text{ pro } R_{cl} \leq 0,078 [(m^2 \cdot K)/W]$$

$$f_{cl} = 1,05 + 0,645 \cdot R_{cl} \text{ pro } R_{cl} > 0,078 [(m^2 \cdot K)/W]$$

kde

$M [W/m^2]$ – energetický výdej povrchu lidského těla (58,2 W/m² – sedící člověk)

$W [W/m^2]$ – účinný mechanický výkon (pro většinu prací rovno nule)

$p_a [Pa]$ – parciální tlak vodní páry

$R_{cl} [(m^2 \cdot K)/W]$ – tepelný odpor oděvu

f_{cl} – poměr povrchu těla pokrytého a nepokrytého oděvem

$v_a [m/s]$ – relativní rychlost proudění vzduchu vůči lidskému tělu

$h_c [W/(m^2 \cdot K)]$ – součinitel přestupu tepla konvekcí

$\theta_{cl} [^\circ C]$ – teplota povrchu oděvů

Tok tepla oděvem musí překonat tepelný odpor oděvu R , který tvoří asi z 80 % vzduchové vrstvy, uzavřené mezi jednotlivými vrstvami oděvu. Tepelný odpor oděvu zmenšuje vlhkost vzduchu a u průvzdušných oděvů také rychlost proudění vzduchu. [8][11][12]

Tabulka 7: Stupnice hodnocení PMV

Tepelný pocit	Index PMV
Horko	+3
Teplo	+2
Mírně teplo	+1
Neutrálně	0
Mírně chladno	-1
Chladno	-2
Zima	-3

Vezmeme-li v úvahu individualitu každého člověka, je nemožné jakoukoliv kombinací veličin ovlivňujících tepelný stav prostředí, zajistit podmínky tepelné pohody pro všechny osoby nacházející se v daných prostorách. Vždy bude existovat určité procento nespokojených lidí (většinou se udává, že nejméně 5 %), kteří budou pociťovat určitou tepelnou nepohodu (neboli diskomfort). Z tohoto důvodu jsou stanoveny nejen optimální, ale také přípustné podmínky tepelného mikroklimatu, které berou v úvahu fyzickou aktivitu či oblečení lidí.

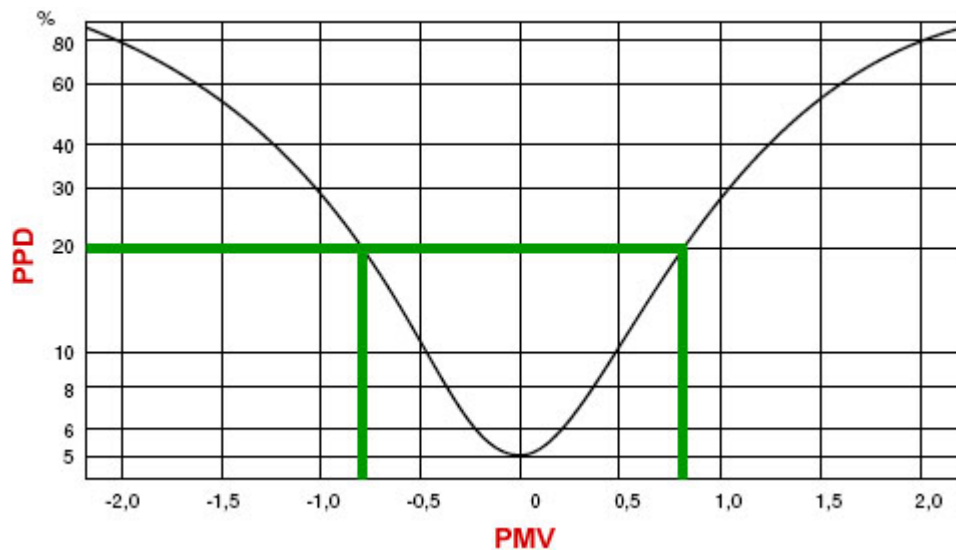
3.1.4 Index PPD

Index PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) udává procentuální podíl nespokojených lidí přítomných v daných prostorách. Tento index byl zaveden z důvodu, že ne všichni lidé jsou s tepelným komfortem spokojeni. Tato spokojenost totiž souvisí s fyziologickým, psychickým či zdravotním stavem lidí, což jsou faktory značně individuální. Tento index závisí na hodnotách stupnice tepelných pocitů podle vztahu [11]

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp[-0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2]$$

Tabulka 8: Vztahy mezi indexy PMV a PPD

PMV	PPD [%]
0	5
± 0,5	10
± 0,83	20
± 1	25
± 2	75



Obrázek 2: Grafické vyjádření závislosti PPD na PMV [13]

3.1.5 Hygienická pohoda

Hygienické podmínky vnitřního prostředí jsou další důležitou kapitolou při hodnocení vnitřního mikroklimatu. Kvalita vnitřního vzduchu závisí na mnoha faktorech, zejména pak na kvalitě venkovního ovzduší, množství vzdušných škodlivin, objemu větracího vzduchu a větracím systému.

Škodlivinami jsou příměsi vzduchu, které způsobují pokles produktivní činnosti lidí a mohou také nepříznivě ovlivňovat jejich zdraví, ale také výrobní zařízení či samotné budovy. Zdrojem škodlivin může být výrobní činnost, produkce člověkem či jejich uvolňování ze stavebního materiálu.

Nejčastější dělení hygienických parametrů pak vypadá následovně

- chemické škodliviny
- radon
- NO_x, CO₂
- biologické faktory

Chemické škodliviny

Oxid uhelnatý CO – je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, lehčí než vzduch, nedráždivý. Život ohrožující zvyšování koncentrace je tak lidskými smysly nepostřehnutelné. Hlavním zdrojem ve vnitřním prostředí je nedokonalé spalování (kamna na pevná paliva, plynové spotřebiče bez odtahu). Zemní plyn využívaný ve většině domácností k vaření, vytápění či

ohřevu teplé vody obsahuje 5 % oxidu uhelnatého. Nebezpečí tkví v tom, že se oxid uhelnatý váže na hemoglobin a krev tak není schopna přenášet dostatek kyslíku.

Formaldehyd – je bezbarvý, štiplavě páchnoucí, jedovatý plyn. Uvolňuje se ze stavebních materiálů, kosmetických, čistících a desinfekčních prostředků, nábytku, podlahovin, kobereců, tapet, lepidel a laků. Výsledná koncentrace formaldehydu ve vnitřním prostředí značně závisí na teplotě a vlhkosti, na stáří a množství nábytku. Jeho koncentrace jsou vysoké zejména tam, kde bylo použito ke konstrukci domu či nábytku dřevotřískových desek. Do těla vstupuje především vdechováním a jeho vyšší koncentrace vyvolává bolesti hlavy, zánět nosní sliznice, nevolnost a únavu. Nejvyšší přípustná koncentrace formaldehydu je $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Azbest – dříve se azbest používal díky jeho protipožárním a tepelně izolačním vlastnostem. Jeho typickou vlastností však je sklon vytvářet tenké vláknité struktury, které jsou schopny se dostat do vzduchu a poté do plic. V plicích se poté azbest zachytává do plicních sklípků, což může postupem času vyvolat rakovinné bujení. V současné době je tedy záměrné používání azbestu, kvůli jeho karcinogenním vlastnostem, zakázáno.

Oxid siřičitý SO_2 – je bezbarvý, štiplavě páchnoucí, jedovatý plyn. Do vnitřního prostředí budov proniká z vnějšího ovzduší. Větší koncentrace je v oblastech výskytu tepelných elektráren, ve kterých se spalují fosilní paliva. Působí dráždivě zejména na horní cesty dýchací, dostavuje se kašel a může vyvolat záněty průdušek a astma.

VOC (Volatile Organic Compounds) – jedná se o skupinu těkavých organických sloučenin, jejichž hlavním zdrojem ve vnitřním prostředí je kouření, čistící prostředky, osvěžovače vzduchu, oleje, nátěry, barvy, laky a další desinfekční prostředky. Některé látky spadající do této skupiny mají karcinogenní účinek, jiné lze klasifikovat jako alergen.

Odéry – jedná se o organické či anorganické plyny, jež jsou lidmi vnímány jako pachy či vůně. Neohrožují přímo zdraví člověka, snižují však jeho koncentraci a pohodu.

Radon

Radon – je bezbarvý plyn, těžší než vzduch, bez chuti a zápachu. Vzniká radioaktivním rozpadem radia a uranu. Do budov dokáže pronikat z geologického podlaží, pokud je základová část domu špatně provedena. V tomto případě dochází k nasávání radonu do vnitřního prostředí. Děje se tak pomocí komínového efektu, kdy rozdíl teplot v objektu a pod ním způsobí podtlak v objektu a radon je aktivně nasáván. V souvislosti

s hygienickými parametry nás zajímá především radionuklid ^{222}Rn , který způsobuje ozařování tkáně. Zvýšený výskyt radonu tak zvyšuje riziko nárůstu nebezpečí výskytu rakoviny plic.

Koncentrace NO_x a CO_2

Oxidy dusíku NO_x – oxidy dusíku se myslím především oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO_2). Základním zdroje oxidů dusíku jsou emise z automobilové dopravy a ze stacionárních zdrojů spalujících fosilní paliva. Zdrojem ve vnitřním prostředí je používání plynu pro vaření, vytápění a ohřev teplé vody.

Oxid uhličitý CO_2 – jedná se o nejběžnější škodlivinu ve vnitřním ovzduší budov a vyznačuje se jako bezbarvý plyn bez chuti a zápachu. Oxid uhličitý je nejvíce produkován přímo člověkem, dále pak také spalováním pevných paliv, při kterém vzniká oxid uhličitý společně s vodní párou. Jeho koncentrace musí být do 0,1 % tj. 1000 ppm, jinak je vzduch označen jako špatný. Při koncentracích kolem 3 % tj. 30 000 ppm se začínají u lidí projevovat bolest hlavy, nevolnost, závratě. Letargie a ztráta vědomí přichází při koncentraci přibližně 8 % tj. 80 000 ppm.

Biologické faktory

Vlhkost, vodní zisky – vlhkost vnitřního vzduchu může negativně ovlivňovat zdraví obyvatelů budov, jednak přímo aktuální nízkou či vysokou relativní vlhkostí nebo nepřímo vytvořením podmínek pro bujení mikroorganismů a plísní. Jednotlivé druhy plísní mají různou schopnost se ze stěny uvolňovat a stát se součástí aerosolu vnitřního ovzduší, z něhož mohou být inhalovány člověkem. Vodní zisky v obytných budovách tvoří produkce páry člověka, odpařování z teplých jídel a vodních hladin. Obýváním prostor a lidskou činností se do vzduchu podle odhadů dostává v průměru ve čtyřčlenné domácnosti 12,5 kg vodní páry denně. [14]

3.1.6 Hygienické limity

Hygienickým limitem chemické látky se rozumí přípustný expoziční limit nebo nejvyšší přípustná koncentrace. Hygienickým limitem prachu se rozumí přípustný expoziční limit.

Přípustný expoziční limit (PEL)

Hovoříme-li o přípustném expozičním limitu, jedná se o celosměnový časově vážený průměr koncentrací plynů, par či aerosolů v pracovním ovzduší, jimž může být člověk (zaměstnanec) v osmihodinové nebo kratší směně vystaven, aniž by u něj došlo i při

celoživotní pracovní expozici k poškození zdraví, k ohrožení jeho pracovní schopnosti a výkonnosti. Tento limit je stanoven pro průměrnou plicní ventilaci člověka maximálně 20 litrů za minutu.

Nejvyšší přípustná koncentrace (NPK)

Hodnota nejvyšší přípustné koncentrace udává takovou koncentraci chemické látky, které nesmí být zaměstnanec v žádném úseku směny vystaven. Při hodnocení pracovního ovzduší lze porovnávat s nejvyšší přípustnou koncentrací dané chemické látky časově vážený průměr koncentrací této látky měřené po dobu nejvýše 15 minut. Takové úseky s vyšší koncentrací smí být během osmihodinové směny nejvýše čtyři, hodnocené s odstupem nejméně jedné hodiny. [15]

Tabulka 9: PEL a NPK u vybraných škodlivin

Látka	PEL	NPK
	[mg/m ³]	
NO _x	10	20
CO	30	150
CO ₂	9000	45000
Formaldehyd	0,5	1
SO ₂	5	10

3.1.7 Větrání místností

S hygienickými požadavky na vnitřní mikroklima úzce souvisí pojmy jako větrání místností, průvzdušnost či šíření vzduchu, a proto bude těmto pojmům v následující kapitole věnována pozornost. Tato problematika souvisí jednak se zmíněnými hygienickými požadavky, a jednak také s energetickou náročností spojenou s větráním. U těchto dvou poměrně protichůdných potřeb samozřejmě platí, že hygienické a provozní požadavky jsou nadřazené hlediskům úspor energie.

V místnosti by tedy měla být zajištěna určitá minimální výměna vzduchu, jelikož je nutné zabránit nahromadění škodlivých látek uvnitř této místnosti. V topném období je ale vnitřní vzduch teplejší než vzduch venkovní, čímž dochází při výměně vzduchu k určité tepelné ztrátě. Vzduch má sice malou tepelnou kapacitu (množství tepla potřebné k jeho ohřátí je malé, cca 1,2 kJ/kg.K), ale objemy vzduchu v budovách jsou velké. Navíc tepelná ztráta není dána pouze tepelnou kapacitou samotného vzduchu. Velká část tepla získaného produkcí od lidí je ve formě latentního tepla vodní páry (tj. tepla, které by bylo potřeba na

odpaření vody). To samé platí pro teplo získané při vaření, praní, sprchování, sušení prádla apod. Při výměně vzduchu je tedy ve formě vlhkosti odnášena i část vnitřních tepelných zisků. [7]

Intenzita větrání popisovaná v normě ČSN 73 0540-2 je definována vztahem

$$n = \frac{\dot{Q}}{V}$$

kde

n [1/h], popř. [$m^3/(m^2 \cdot h)$] - intenzita výměny vzduchu; udává, kolikrát za hodinu se vymění v místnosti všechny vzduch (násobnost výměny vzduchu)

\dot{Q} [m^3/h] - objemový tok přiváděného čerstvého vzduchu

V [m^3] - čistý (vzduchový) objem prostoru

Intenzita větrání užívané místnosti

V době, kdy je místnost využívána, musí být pro intenzitu větrání místnosti splněn požadavek

$$n \geq n_N$$

kde

n_N – požadovaná intenzita větrání užívané místnosti, stanovená z potřebných minimálních průtoků čerstvého vzduchu

Současně však musí být v topném období splněna podmínka:

$$n \leq 1,5 \cdot n_N$$

Požadavky na potřebné množství přiváděného čerstvého vzduchu a další požadavky na způsob větrání místností jsou stanoveny v závislosti na charakteru provozu budovy, technologických požadavcích, tělesné aktivitě osob, počtu osob apod.

Základním požadavkem normy ČSN EN 15 665/Z1 je zajištění trvalého přívodu venkovního vzduchu s minimální intenzitou větrání $0,3 h^{-1}$ v obytných prostorech (pokoje, ložnice apod.) a kuchyních. Pro vyšší kvalitu vnitřního vzduchu se však doporučuje, v souladu s ČSN EN 15251, intenzita větrání $0,5 h^{-1} \div 0,7 h^{-1}$. V době, kdy nejsou obytné prostory dlouhodobě užívány (např. víkendy, dovolené), může být intenzita větrání snížena na $0,1 h^{-1}$ (hodnota je vztažena k celkovému vnitřnímu objemu bytu či

rodinného domu). V normě ČSN 73 0540-2 je uvedeno, že pro obytné a obdobné budovy je zpravidla požadovaná intenzita větrání mezi hodnotami $n_N = 0,3 \text{ h}^{-1} \div 0,6 \text{ h}^{-1}$. Tyto hodnoty jsou stanoveny přepočtem z minimálních dávek potřebného čerstvého vzduchu, kdy platí, že pro pobytové místnosti se zpravidla požaduje zajistit nejméně $15 \text{ m}^3/\text{h}$ čerstvého vzduchu na osobu při klidové aktivitě s produkcí metabolického tepla do $80 \text{ W}/\text{m}^2$ a při aktivitě s produkcí tepla nad $80 \text{ W}/\text{m}^2$ až nejméně $25 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobu. V učebnách se zpravidla požaduje dávka vzduchu $20 \text{ m}^3/\text{h}$ až $30 \text{ m}^3/\text{h}$ na žáka. Výměna vzduchu v hygienických zařízeních se zpravidla uvádí v m^3/h vztažených na jednotku zařízení (na sprchu, šatní místo apod.) Mimo otopné období může být vhodné intenzitu větrání zvýšit. [16][17]

Tabulka 10: Požadavky na větrání obytných budov [18]

Požadavek	Trvalé větrání (průtok venkovního vzduchu)		Nárazové větrání (průtok odsávaného vzduchu)		
	Intenzita větrání [$1/\text{h}$]	Dávka venkovního vzduchu na osobu [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$]	Kuchyně [m^3/h]	Koupelny [m^3/h]	WC [m^3/h]
Minimální hodnota	0,3	15	100	50	25
Doporučená hodnota	0,5	25	150	90	50

Předchozí tabulka se týká obytných budov, dále je tedy nutné podívat se na další funkční části sportovních budov, které jsou uvedeny v úvodu této práce. Problematice zajištění podmínek ochrany zdraví při práci se věnuje nařízení vlády č 361/2007 Sb. V §41, který se týká větrání pracovišť, je uvedeno, že musí být zajištěna dostatečná výměna vzduchu přirozeným nebo nuceným větráním. Konkrétní množství vyměňovaného vzduchu je závislé na charakteru vykonávané práce a její fyzické náročnosti. Minimální množství venkovního vzduchu přiváděného na pracoviště tedy musí být

- $50 \text{ m}^3/\text{h}$ na zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do tříd I nebo IIa
- $70 \text{ m}^3/\text{h}$ na zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do tříd IIb, IIIa nebo IIIb
- $90 \text{ m}^3/\text{h}$ na zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do tříd IVa, IVb nebo V

Některé normy jsou ale v lehkém rozporu s výše uvedenými hodnotami a záleží na klasifikaci konkrétních prostor. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty požadované výměny vzduchu dle jiných předpisů. V tabulce jsou uvedeny prostory, které se vyskytují

ve sportovních budovách popsaných v úvodu této práce, tzn. v budovách složených z více funkčních celků.

Tabulka 11: Požadavky na větrání pobytových prostor [15]

Druh místnosti	Požadovaná výměna vzduchu [l/(s · os)]	Požadovaná výměna vzduchu [m ³ /(h · os)]
Kancelářské prostory	10	36
Konferenční místnosti	10	36
Jídelny	10	36
Kuchyně	8	29
Prádelny	13	47
Posilovna	8	29
Tělocvična	10	36

Z hlediska výpočtu tepelné zátěže a klimatizačního zařízení je však nutné výměnu vzduchu vždy překontrolovat, protože velká výměna vzduchu může způsobit v místnosti pocit průvanu. Z tohoto důvodu se doporučuje následující četnost výměny vzduchu:

- kanceláře => $4 \div 6 \text{ h}^{-1}$
- zasedací místnost => $6 \div 8 \text{ h}^{-1}$

V příloze č. 10 k nařízení vlády č. 361/2007 Sb. jsou dále uvedeny hodnoty výměny vzduchu v sanitárních zařízeních.

Tabulka 12: Výměna vzduchu v sanitárních zařízeních

Zařízení	Výměna vzduchu [m ³ /h]
Šatny	20 na 1 šatní místo
Umývárny	30 na 1 umyvadlo
Sprchy	150 ÷ 200 na 1 sprchu
WC	50 na 1 kabinu
	25 na 1 pisoár

3.2 Tepelně technické a energetické požadavky

3.2.1 Tepelně technické parametry obalových konstrukcí

Tepelně technickým požadavkům pro navrhování a ověřování budov s požadovaným stavem vnitřního prostředí při jejich užívání, které zajišťují plnění základních požadavků na stavby, se věnuje norma ČSN 73 0540-2. Základními požadavky se myslí zejména hospodárné splnění základního požadavku na úsporu energie a tepelnou ochranu budov

podle zákona č. 183/2006 Sb. ve znění pozdějších předpisů, který se věnuje územnímu plánování a stavebnímu řádu, dále pak zajištění ochrany zdraví, zdravých životních podmínek a životního prostředí. Zmíněná norma platí jak pro nové budovy, tak i pro stavební úpravy, udržovací práce, změny v užívání budov či jiné změny již dokončených budov. Požadované tepelně technické parametry je nutné dodržet po celou dobu ekonomicky přiměřené životnosti konstrukcí a budov za předpokladu jejich běžného užívání a údržby. [16]

Tepelně technické požadavky zohledňují jednak šíření tepla, vlhkosti a vzduchu konstrukcemi a místnostmi, jednak energetickou náročnost budovy. Uváděné požadované hodnoty je nutné splnit vždy ve výše zmíněných případech. Doporučené hodnoty jsou charakteristické pro energeticky zvláště úsporné budovy a jejich dosažení je často požadováno při spolufinancování z různých dotačních programů. Nutno podotknout, že jejich dosažení je někdy opravdu náročné a vyžaduje například použití velmi silné izolační vrstvy.

Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce

Nejnižší vnitřní povrchová teplota stavební konstrukce se používá při hodnocení rizika kondenzace vodní páry a výskytu plísní na jejím vnitřním povrchu. Vznik a růst plísní je v naprosté většině případů zapříčiněn vlhkostí ve vnitřních prostorech. Rozlišují se dva způsoby vlhnutí vnitřního povrchu stavebních konstrukcí. Vlhkost se do interiéru může dostat zatékáním z exteriéru v důsledku nesprávné funkce dělicích konstrukcí. Pro tuto práci je ale důležitý druhý způsob, kdy vlhkost, za určitých podmínek, kondenzuje na vnitřním povrchu konstrukce ze vzdušné vlhkosti.

Obalová konstrukce budovy tedy musí být navržena tak, aby v ní nedocházelo ke kondenzaci vodní páry. Vnitřní povrchová teplota konstrukce tedy musí být vyšší, než je teplota rosného bodu.

Rosný bod je teplota, při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami a jestliže klesne teplota pod tuto hodnotu, nastává kondenzace. Jinými slovy, rosný bod je taková kombinace teploty a relativní vlhkosti, pro kterou vodní pára obsažená ve vzduchu mění skupenství z plynného na kapalné. Dále platí, že zvýší-li se relativní vlhkost vzduchu, může docházet ke kondenzaci vodní páry i beze změny teploty a naopak. Vnitřní povrchová teplota je nejnižší v zimním období a právě v tomto období by z tohoto hlediska

byla vhodná co nejnižší relativní vlhkost vnitřního vzduchu, což je ale v rozporu s hygienickými normami.

V normě ČSN 73 0540-2 jsou uváděny požadavky na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu odlišně pro neprůsvitné stavební konstrukce a pro výplně otvorů, kterými se rozumí okna, světlíky, dveře či vrata osazené do otvoru v budově, a také průsvitné části lehkého obvodového pláště. Pro stavební konstrukce je důležité vyloučit možnost vzniku již zmíněných plísní. U výplní otvorů je pak požadavkem vyloučení povrchové kondenzace vodní páry.

Prahovou hodnotou, pod níž je vznik plísní a riziko kondenzace bezpečně vyloučeno, je *kritická vnitřní povrchová vlhkost* $\varphi_{si,cr}$ [%], což je veličina udávající relativní vlhkost bezprostředně při vnitřním povrchu konstrukce. Pro neprůsvitné stavební konstrukce se udává $\varphi_{si,cr} = 80\%$. Při nižších povrchových relativních vlhkostech je vznik plísní prakticky vyloučen. Pro výplně otvorů platí $\varphi_{si,cr} = 100\%$ a při nižších vlhkostech ke kondenzaci vodní páry nedochází.

Vnitřní povrchovou teplotu θ_{si} je výhodné hodnotit v poměrném tvaru jako teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} , protože f_{Rsi} je jednoznačnou vlastností konstrukce ve sledovaném místě, která nezávisí na teplotách přilehlých prostředí.

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_{ai} - \theta_e} = 1 - \frac{\theta_{ai} - \theta_{si}}{\theta_{ai} - \theta_e}$$

Vyjádření θ_{si} poté vypadá následovně:

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

Jiným způsobem stanovení f_{Rsi} je následující vztah:

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

kde

U_x – lokální součinitel prostupu tepla v místě x vnitřního povrchu

θ_{ai} – návrhová teplota vnitřního vzduchu

R_{si} [($m^2 \cdot K$)/ W] – odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce

Tepelný odpor mezní vzduchové vrstvy přiléhající bezprostředně k vnitřní straně konstrukce je definován vztahem

$$R_{si} = \frac{1}{h_i}$$

kde

h_i [$W/(m^2 \cdot K)$] – součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce

Pokud tedy budeme dle normy využít hodnocení šíření tepla konstrukcí teplotní faktor, musí být splněna podmínka

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N}$$

kde

$f_{Rsi,N}$ – požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu

$$f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr}$$

kde

$f_{Rsi,cr}$ – kritický teplotní faktor vnitřního povrchu

Kritická vnitřní povrchová teplota $\theta_{si,cr}$ je teplota, u které dosahuje relativní vlhkost na vnitřním povrchu konstrukce předepsané maximální hodnoty. Tato hodnota je pro výplně otvorů stanovena na 100 %, tudíž je kritická vnitřní povrchová teplota shodná s teplotou rosného bodu. Nejnižší vnitřní povrchovou teplotu plošné konstrukce, v níž dochází k jednorozměrnému šíření tepla, lze také stanovit ve vztahu:

$$\theta_{si} = \theta_{ai} - U \cdot R_{si} \cdot (\theta_{ai} - \theta_e)$$

Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně R_{si} se uvažuje $R_{si} = 0,13 (m^2 \cdot K)/W$ pro výplně otvorů a $R_{si} = 0,25 (m^2 \cdot K)/W$ pro neprůsvitné stavební konstrukce. [16][19]

Pokles dotykové teploty podlahy

Dalším tepelně technickým požadavkem je pokles dotykové teploty podlahy $\Delta\theta_{10,N}$. Norma ČSN 73 0540-2 roztrídí z tohoto pohledu podlahy do čtyř kategorií.

Tabulka 13: Kategorie podlah z hlediska poklesu dotykové teploty podlahy

Kategorie podlahy	Pokles dotykové teploty podlahy $\Delta\theta_{10,N}$ [°C]
I. Velmi teplé	$\leq 3,8$ °C
II. Teplé	$\leq 5,5$ °C
III. Méně teplé	$\leq 6,9$ °C
IV. Studené	$> 6,9$ °C

Výpočet poklesu dotykové teploty podlah se obvykle provádí pomocí výpočetní techniky. V následující tabulce jsou uvedeny kategorie podlahy v prostorách, jež se vyskytují v budovách, o kterých pojednává tato práce.

Tabulka 14: Kategorie podlah v různých prostorách dle ČSN 73 0540-2

Funkční část budovy	Účel místnosti	Kategorie podlahy	
		Požadovaná	Doporučená
Obytná část	Ložnice	I.	
	Obývací pokoj	II.	I.
	Koupelna, WC	III.	II.
	Předsíň	IV.	III.
Administrativní část	Kancelář	II.	
Sportovní část	Tělocvična	II.	
	Vyšetřovna	II.	

Šíření vlhkosti konstrukcí

Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukcí je velmi nepříjemný jev, který má za následek podstatné snížení životnosti konstrukce. Dalším nežádoucím následkem kondenzace uvnitř konstrukce může být snížení vnitřní povrchové teploty konstrukce až na takovou hodnotu, kdy začíná docházet ke kondenzaci vodní páry na tomto vnitřním povrchu. [16][19]

Konstrukce, u nichž by zkondenzovaná vodní pára mohla ohrozit požadovanou funkci, musejí být dle normy ČSN 73 0540 navrženy tak, aby v nich vodní pára zkondenzovat vůbec nemohla

$$M_c = 0$$

Nejsou-li konstrukce vnitřní kondenzací vodní páry ohroženy, musí splňovat následující požadavky:

1) roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry je kladná

$$M_{ev} - M_c > 0$$

kde

M_{ev} [kg/(m² · rok)] – množství vypařené vodní páry za rok

M_c [kg/(m² · rok)] – množství zkondenzované vodní páry za rok

2) zkondenzované množství vodní páry za rok je u:

- jednoplašťových střech

$$M_c \leq 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$$

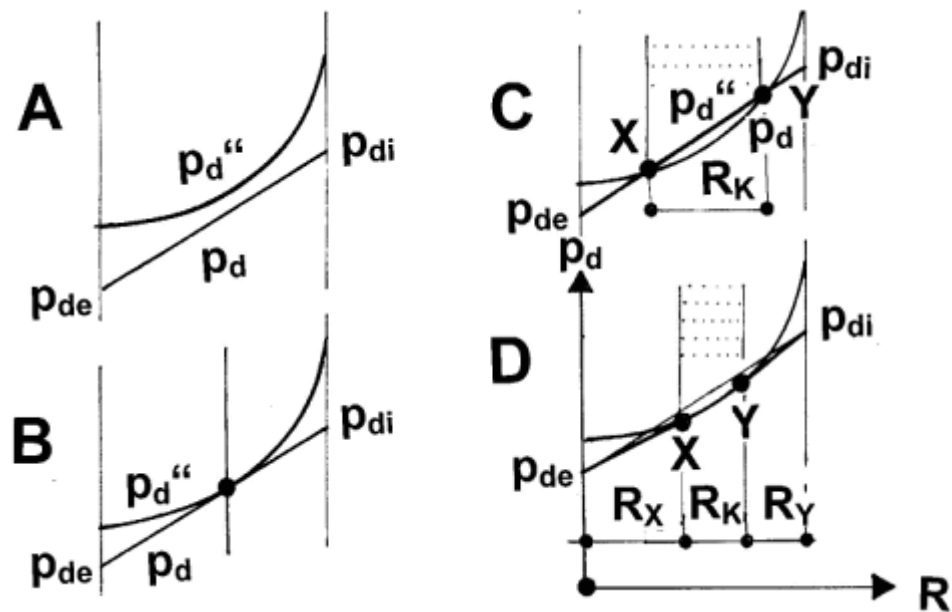
- ostatních konstrukcí

$$M_c \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$$

K vlhkostnímu toku stěnou oddělující dvě vzduchová prostředí dochází v důsledku rozdílu částečného tlaku vodní páry v těchto prostředích. Vlhkost potom prostupuje stěnou z prostředí s vyšším částečným tlakem do prostředí s nižším částečným tlakem vodní páry. Částečný tlak vodní páry se odvozuje z měrné vlhkosti vzduchu a pro venkovní vzduch jsou tyto hodnoty v průběhu roku proměnlivé. Pro zjišťování možné kondenzace vodní páry v konstrukci stěny se za rozhodující období považuje zimní období s nízkou teplotou venkovního vzduchu a nízké měrné vlhkosti.

Tlak syté vodní páry je závislý na teplotě a tato hodnota je vždy vyšší než hodnota částečného tlaku pro stejný stav vzduchu. Riziko kondenzace v zimním období spočívá v tom, že hodnoty tlaku syté vodní páry a částečného tlaku se v tomto období k sobě blíží.

V části A následujícího obrázku ke kondenzaci vodní páry nedochází. V části B je riziko vzniku kondenzace vodní páry ve vyznačené rovině, ve které se obě hodnoty tlaku rovnají. Dále pak je možné v části C vidět průnik obou křivek tlaků vodní páry. Mezi body X a Y je tedy jakési teoretické pásmo kondenzace. Pásmo je označeno jako teoretické, protože stav, kdy by částečný tlak vodní páry dosahoval vyšších hodnot než tlak syté páry, je nereálný. V poslední části obrázku je zobrazen reálný průběh částečného tlaku vodní páry a body X a Y tak označují skutečné pásmo kondenzace. [20]



Obrázek 3: Princip kondenzace vodní páry v konstrukci

Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla je většinou označován písmenem U a udává se v jednotkách $[W/m^2 \cdot K]$. Slouží k charakterizování tepelněizolačních schopností konstrukce.

Pro běžné tepelně technické posouzení obvodové stěny, při výpočtu tepelné ztráty, se uvažují konstantní výpočtové hodnoty součinitelů přestupu tepla, které však závisí od proudění vzduchu podél konstrukce.

Pro vnitřní líc stěny v místnosti se nejčastěji uvažuje se součinitelem přestupu tepla $h_i = 8 W/(m^2 \cdot K)$. To odpovídá reálně nízkému proudění vzduchu podél stěny s rychlostí nižší než $v = 0,2 m/s$.

Naopak u vnějšího líce stěny se ve výpočtu uvažuje s působením větru, při kterém je rychlost proudění vzduchu podél stěny mnohem vyšší, např. asi přibližně $v = 3 m/s$. Z toho důvodu je hodnota součinitele přestupu tepla poměrně vysoká $h_e = 23 W/(m^2 \cdot K)$.

Obzvláště u součinitele přestupu tepla na straně venkovní jsou zvolené výpočtové podmínky jen velmi orientační a podle proměnné rychlosti větru i podle výšky budovy jsou hodnoty součinitele přestupu tepla α_e proměnné. Přesto s nimi počítáme při celoroční bilanci. Uvedení součinitele prostupu tepla (U) pro konkrétní výrobek má v sobě tedy zabudovánu už tuto nepřesnost z nejčastěji používaných součinitelů přestupu tepla α_i a α_e .

3.2.2 Energetické parametry budovy

K energetickému hodnocení budovy je využíván tzv. průměrný součinitel prostupu tepla. Tato veličina je využívána ke stanovení energetického štítku obálky budovy.

Průměrný součinitel prostupu tepla

Průměrný součinitel prostupu tepla je označován U_{em} a stejně jako součinitel prostupu tepla je udáván v jednotkách $[W/m^2 \cdot K]$. Zahrnuje vliv všech ochlazovaných konstrukcí tvořících systémovou hranici budovy nebo její vytápěné zóny. [16]

Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} je definován následovně:

$$U_{em} = \frac{H_T}{A}$$

kde

H_T – měrná ztráta prostupem tepla stanovená pro budovu [W/K]

A – celková plocha všech ochlazovaných konstrukcí [m^2]

3.3 Požadavky na osvětlení

Se světelně-technickými parametry souvisí vizuální pohoda, která vzniká tehdy, může-li v lidském mozku nerušeně probíhat proces zrakového vnímání. V prostředí, ve kterém nejsou vytvořeny podmínky pro vizuální pohodu, dochází k narušení zrakových funkcí a k únavě očí, vzniká tedy tzv. zraková nepohoda, která se negativně projevuje v náladě člověka a tím pádem v jeho výkonnosti.

Mezi parametry ovlivňující vizuální pohodu patří:

- optimální intenzita osvětlení
- optimální jas
- optimální rovnoměrnost osvětlení
- barevné podání
- teplota chromatičnosti

Vhodnou volbou velikosti a umístění osvětlovacích otvorů, svítidel a světelných zdrojů by mělo být vždy dosaženo takového prostředí, v němž nedochází k oslňování, kde je osvětlení dostatečné a rovnoměrné a také se díky vhodnému rozložení světla v prostoru jeví předměty přiměřeně plastické.

Zásadně se osvětlení rozlišuje na:

- přirozené (denní světlo)
- umělé
- sdružené

Přirozené (denní) osvětlení

Jedná se o sluneční světlo, jehož jedna část dopadá na Zemi jako přímé sluneční světlo a jehož druhá část je rozptýlena atmosférou. Spektrální složení denního světla je proměnlivé, závisí na výšce Slunce nad obzorem a na stavu oblačnosti. Kvůli proměnnosti denního světla osvětlení se vyjadřuje intenzita denního osvětlení pomocí relativní veličiny, tzv. činitele denní osvětlenosti $e[\%]$. Tento činitel je definován jako poměr osvětlenosti denním světlem v daném bodě dané roviny $E_{intr} [lx]$ k současné srovnávací osvětlenosti venkovní nezacloněné roviny $E_{extr} [lx]$.

Činitel denní osvětlenosti tedy neudává intenzitu osvětlení v daném okamžiku, ale pouze procento osvětlenosti, které se z celkového denního oblohového záření dostane osvětlovacími otvory do měřeného místa v místnosti.

Na pracovišti, na němž je vykonávána trvalá práce, osvětlovaném denním osvětlením, musí být dle §45 zákona č. 361/2007 Sb. ve znění pozdějších předpisů dodrženy následující hodnoty:

- denní osvětlení vyjádřené činitelem denní osvětlenosti $e_{min} = 1,5\%$
- celkové umělé osvětlení vyjádřené udržovanou osvětleností $E_{min} = 200 lx$

Na pracovišti, na němž je vykonávána trvalá práce, osvětlovaném sdruženým osvětlením musí být dodrženy tyto hodnoty:

- denní složka $e_{min} = 1,5\%$
- celkové umělé osvětlení $E_{min} = 200 lx$

Umělé osvětlení

Umělé osvětlení slouží k vytvoření světelného klimatu v době, kdy je denní osvětlení nedostatečné nebo jej nelze využít vůbec. Osvětlení umělými zdroji světla musí respektovat kvalitativní a kvantitativní parametry světla a vytvořit podmínky pro zrakovou pohodu, která ve značné míře ovlivňuje pracovní výkon. Charakteristickým znakem umělého světla je jeho relativní stálost v čase. Mezi hlavní výhody patří možnost úpravy

osvětlení dle potřeb daného prostoru. Naopak nevýhodou je odlišné spektrální složení od denního světla, což má vliv na vnímání barev. [21]

Mezi základní pojmy v problematice osvětlení patří:

Světelný tok ϕ – veličina, která odpovídá zářivému toku a vyjadřuje schopnost způsobit zrakový vjem. Jednotkou je lumen [lm].

Zářivý tok – energie přenesená zářením za jednotku času

Svítivost I – svítivost v daném směru je podíl části světelného toku, který vychází ze zdroje do malého prostorového úhlu v tomto směru, a toho prostorového úhlu. Jednotkou je kandela [cd].

Intenzita osvětlení E – je to podíl části světelného toku, která dopadá na plochu povrchu tělesa, a této plochy. Jednotkou je lux [lx]. Osvětlení jednoho luxu je vyvoláno světelným tokem jednoho lumenu rovnoměrně rozprostřeného na ploše 1m^2 .

Jas – jedná se o podíl svítivosti plochy zdroje v daném směru a průměru této plochy do roviny k danému směru. Na jas bezprostředně reaguje zrakový orgán. Označuje se L a udává se v $[\text{cd}/\text{m}^2]$.

Teplota chromatičnosti zdroje osvětlení (barevná teplota) – teplota, která odpovídá teplotě absolutně černého tělesa, vyzařujícího světlo stejné barvy jako tento zdroj. Jednotkou je kelvin [K].

Index podání barev R_a – udává hodnocení věrnosti barevného vjemu, který vzniká osvětlením ze zdroje v porovnání s barevným vjemem, jenž by vznikl osvětlením denním světlem. Hodnota R_a se udává na stupnici 0 až 100, kdy $R_a = 100$ znamená, že zdroj umožňuje přirozené podání barev.

Osvětlení sportovišť

Osvětlení sportovišť se věnuje norma ČSN EN 12193, jíž základním cílem je stanovit doporučení a požadavky pro dobré osvětlení sportovišť. Osvětlovači musí zajistit rovnoměrné prosvětlení celého sportovního prostoru (v této souvislosti se hovoří o vertikální osvětlenosti), a ne jen povrchu (horizontální osvětlenost), po které se hráči pohybují. Tento prostor není ukončen čarami vymežujícími hřiště daného sportu. Horizontální osvětlenost je parametr důležitý jednak pro hráče a jednak také pro diváky. Oproti tomu vertikální osvětlenost je klíčový pro televizní kamery.

Množství potřebného světla je dáno druhem sportu s ohledem na pohyb hráčů a dynamiku sportovní činnosti. Vyšší hodnoty osvětlenosti jsou tak vyžadovány u sportů, jako je lední hokej, squash či stolní tenis.

Další důležitou vlastností osvětlovací soustavy je interpretace barev povrchů v prostoru sportoviště. Tento index podání barev určuje typ použitého světelného zdroje. U většiny sportů je podle normy ČSN EN 12193 pro soutěže vyšších a středních tříd vyžadován index barevného podání zdroje $R_a > 60$. Pro televizní přenosy jsou doporučené hodnoty indexu dokonce $R_a > 80$. Těchto hodnot je možné dosáhnout použitím běžných zářivek nebo halogenidových výbojek. Pro nejnižší tréninkové úrovně jsou však často dostačující vysokotlaké sodíkové výbojky s $R_a \doteq 20$. [22]

Tabulka 15: Požadavky normy ČSN EN 12193

Třída	Vodorovná světelnost	Rovnoměrnost osvětlení
	E [lx]	E_{min}/E [-]
I (liga)	500	0,7
II (přebor)	200	0,6
III (trénink)	75	0,5

4 MOŽNOSTI ŘEŠENÍ SYSTÉMŮ TECHNIKY PROSTŘEDÍ

4.1 Vytápěcí systémy

Pod pojmem tepelná soustava se rozumí soustava, ve které se teplo vyrábí či do ní vstupuje, a dopravuje se dále tekutinami potrubím ke spotřebičům. Soustava sestává ze zdrojů tepla, rozvodů tepla a z odběrů tepla.

Dle rozsahu území, do kterého tepelné soustavy dodávají teplo, je možné následující rozdělení:

- meziměstské
- městské
- okrskové a podnikové
- domovní
- etážové a bytové

První tři uvedené typy tepelných soustav lze považovat za typy s jedním či více centrálními zdroji tepla, poslední dva typy lze považovat za typy s lokálními zdroji tepla.

Tepelné soustavy s centralizovaným zásobováním teplem lze rozdělit na základní skupiny lišící se teplotou teplotonosné látky:

- parní dálkové vytápění $> 120\text{ °C}$
- horkovodní dálkové vytápění $> 120\text{ °C}$
- teplovodní dálkové vytápění $< 120\text{ °C}$
- nízkoteplotní dálkové vytápění 25 až 35 °C

Soustava CZT tedy zahrnuje vzájemně propojené zdroje tepla (teplárny), tepelné sítě, případně předávací stanice a spotřebitelská zařízení.

Tepelné sítě jsou zařízení určené pro dopravu tepla od zdroje k odběrateli a zahrnují také předávací stanice, kde se nosiče tepelné energie upravují na hodnoty, které jsou požadovány spotřebitelskými zařízeními (teplota, tlak apod.).

Tepelné sítě lze rozdělit na:

- primární rozvodnou tepelnou síť – mezi výrobnou tepla a předávací stanicí
- sekundární rozvodnou tepelnou síť – část mezi předávací stanicí a odběrem tepla

Předávací stanice lze dělit dle několika kritérií. Prvním tímto kritériem je druh topného média využívaného v primárním okruhu předávací stanice.

Dělení tedy vypadá následovně:

- horkovodní $> 115\text{ °C}$
- teplovodní $< 115\text{ °C}$
- parní

Dalším kritériem je způsob připojení stanice na tepelnou síť:

- tlakově závislé – směšovací stanice
- tlakově nezávislá – výměňiková stanice
- kombinace předchozích

U předávací stanice, která je tlakově nezávislá, se vždy vyskytuje výměník tepla s určitou teplosměnnou plochou, která zajišťuje vodotěsné oddělení primárního a sekundárního okruhu. Stanice je označována jako tlakově nezávislá právě proto, že díky výměníku tepla jsou primární i sekundární strana na sobě tlakově i hydraulicky nezávislé. K udržování správné hodnoty tlaku v sekundárním okruhu slouží zabezpečovací zařízení sestávající z pojistného ventilu a expanzního zařízení.

Mezi další lokální způsoby zásobování teplem patří kromě již zmíněných předávacích stanic také různé způsoby místního vytápění pomocí krbů, kamen, plynových otopných těles, elektrických otopných těles či elektrických akumulčních kamen. V neposlední řadě lze pro vytápění využívat také alternativní zdroje tepla, konkrétně solární kolektory či tepelná čerpadla. [23][24]

Teplovodní otopné soustavy

Otopné soustavy lze rozdělovat dle několika kritérií, a to podle:

- teplotnosné látky
 - parní soustavy
 - vodní soustavy
 - nízkoteplotní (do 65 °C)
 - teplovodní (do 110 °C)
 - teplovzdušné soustavy
- tlaku teplotnosné látky

- podtlakové (do absolutního tlaku 100 kPa)
- nízkotlaké (do absolutního tlaku 150 kPa)
- středotlaké (do absolutního tlaku 900 kPa)
- vysokotlaké (od absolutního tlaku 900 kPa)
- sdílení tepla
- počtu trubek
 - jednotrubkové
 - dvoutrubkové
 - protiproudé
 - souproudé
- umístění rozvodu teplonosné látky
 - s horním rozvodem
 - se spodním rozvodem
- oběhu teplonosné látky
 - s přirozeným oběhem
 - s nuceným oběhem
- rozvodu k otopným tělesům
 - vertikální
 - horizontální

Otopné soustavy mohou být vybaveny následujícími druhy koncových zařízení, které slouží pro předávání tepla do místnosti:

- vytápění otopnými tělesy - desková, článková či trubková tělesa
- konvektorové vytápění
- velkoplošné vytápění (podlahové)

Požadavky kladené na teplonosnou látku

Nejvhodnější teplonosnou látkou je teplá voda. Nejčastěji navrhované teplotní spády na otopné soustavě jsou 90/70 °C, 85/75 °C, 80/60 °C, 75/65 °C, 70/50 °C nebo 70/60 °C.

Se zlepšujícími se tepelně-technickými vlastnostmi obvodových konstrukcí budov klesá tepelná ztráta, což umožňuje volit nižší teploty. Nízkoteplotní otopné soustavy jsou provozovány např. při teplotních spádech 55/45 °C, 45/35 °C či 35/25 °C.

Požadavky na oběh otopné vody

Oběh vody v soustavě může být buď přirozený, nebo nucený. Přirozený oběh vzniká na základě rozdílné hustoty vratné a přívodní vody. Nucený oběh je vyvolán dopravním tlakem oběhového čerpadla.

K výhodám nuceného oběhu patří zajištění lepších hydraulických a teplotní parametrů, dobrá regulace, měření spotřeby tepla a urychlení zátoku. Nevýhodou může být závislost provozu na dodávce elektrické energie vyžadované k pohonu oběhového čerpadla.

4.2 Větrání systémy

Principem větrání je výměna vzduchu znehodnoceného za vzduch čerstvý, tedy za vzduch venkovní. Upravuje se čistota ovzduší ve větraném prostoru (odvodem škodlivin) a dílčím způsobem také tepelný stav prostředí (odvodem tepelné zátěže).

Větrání se rozlišuje na:

- přirozené větrání
- nucené větrání

4.2.1 Přirozené větrání

Přirozené větrání je výměna vzduchu ve vnitřním prostoru vlivem tlakového rozdílu, jenž je způsoben účinkem přírodních sil vznikajících rozdílem teplota nebo dynamickým účinkem větru. Svou funkcí eliminuje základní škodliviny vyskytující se v místnostech budov. Zdroje sil jsou charakteristické proměnným a nahodilým účinkem, takže efekt přirozeného větrání je často značně variabilní. Primárními veličinami postihujícími přirozené větrání jsou tlak a jeho rozdíl, objemový průtok vzduchu a plocha otvorů k větrání.

Tlak vyvozený vlivem rozdílu teplot uvnitř a vně budovy je vyvolán vnitřními nebo vnějšími tepelnými zdroji. Tlak vyvozený účinkem větru je výsledkem silového působení na budovu. Při rychlosti větru vzniká na návětrné straně budovy přetlak a na závětrné straně podtlak.

4.2.2 Nucené větrání

Nucené větrání lze definovat jako mechanickou výměnu znehodnoceného vzduchu v prostoru za vzduch (zpravidla) venkovní k zajištění zejména oděrového mikroklimatu.

Nucená výměna vzduchu, jeho proudění, a tím i přenos látek je vyvolán mechanicky, tj. ventilátorem. Nucené větrání je systém se základní úpravou přívodního vzduchu, jenž zajistí vybrané složky mikroklimatu nezávislé na vnějších klimatických podmínkách.

Správně navržené větrací zařízení zajišťuje:

- přívod venkovního čerstvého vzduchu
- filtraci přiváděného vzduchu
- ohřev přiváděného vzduchu v zimním období
- odvod vzduchu

Podle toho, zda vzduch odváděný z místnosti se vyměňuje za vzduch venkovní v celém prostoru, nebo pouze v jeho části se třídí nucené větrání na:

- celkové větrání
- místní přívod vzduchu
- místní odsávání vzduchu

Celkové nucené větrání

Zajišťuje pokud možno rovnoměrné provětrávání pásma pobytu osob. Celkové větrání se používá především tam, kde nevýrazné zdroje škodlivin či tepla jsou v prostoru rovnoměrně rozmístěny.

Spotřebu energie na ohřev přiváděného venkovního vzduchu lze snížit využitím oběhového vzduchu, nebo zařízením na zpětné získávání tepla. Oběhový vzduch lze přivádět do větraného prostoru pouze tehdy, je-li dostatečně vyčištěn od odsávaných škodlivin. Nelze-li z hygienických důvodů vracet oběhový vzduch, předehřívá se venkovní vzduch ve výměnících pro zpětné získávání tepla (ZZT). Odsávaný vzduch musí být ale dostatečně vyčištěn od prachu, jinak dochází k usazování na teplosměnných plochách, což způsobuje snížení tepelného výkonu výměníku a vzrůstá tlaková ztráta zařízení.

Základní typy výměníků ZZT:

- rekuperační – přímá výměna tepla, např. deskové výměníky, přenos citelného tepla
- regenerační – výměna tepla přes akumulaci hmoty, např. rotační regenerační výměníky, přenos citelného tepla i možný přenos vlhkosti

Místní přívod vzduchu

Slouží k lokální úpravě teploty nebo čistoty vzduchu. Zařízení používané pro místní přívod vzduchu jsou například vzduchové clony, sprchy nebo oázy.

Vzduchové clony se obvykle zřizují při otevřených komunikačních otvorech budov k omezení proudění chladného vzduchu v zimě do vnitřního prostoru. Pronikání chladného vzduchu je převážně způsobeno přirozeným pod tlakem, který vzniká rozdílem teploty vzduchu zevnitř a vně budovy. Vzduchovou clonou je vyfukuje plochý proud teplého vzduchu proti proudu chladného vzduchu pronikajícího do budovy. Tato vzduchová clona zvyšuje hydraulický odpor otvoru a snižuje tak průtok chladného vzduchu.

Vzduchové sprchy jsou určeny pro ochranu člověka v horkých průmyslových provozech před nadměrným sálavým teplem. Vzduchem proudícím kolem člověka se zvyšuje odvod tepla z povrchu těla konvekcí.

Vzduchové oázy umožňují vytvořit kvalitnější ovzduší v rozměrných prostorech, zvláště průmyslových hal. Instalují se u trvalých pracovních míst a v místech odpočinku pracovníků. Přívod vzduchu se řeší výústěmi pro rovnoměrný přívod, pokud možno do bezprostřední blízkosti místa pobytu osob. Rychlost ve výústích je zpravidla nízká a teplota přiváděného vzduchu (při chlazení) se nemá lišit od teploty vzduchu v hale o více jak 3 K.

Místní odsávání

Místní odsávání má své opodstatnění v aplikacích, u kterých se v ohraničených místech uvolňují výrazné látkové škodliviny nebo nadměrné teplo. Odsávaný vzduch však musí být nahrazován přiváděným venkovním vzduchem. [24][25]

4.3 Využití obnovitelných zdrojů energie

4.3.1 Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo je technické zařízení, které využívá netradiční energii na nízkoteplotní úrovni čerpanou z okolního prostředí, a převádí (přečerpává) tuto energii na vyšší teplotní úroveň použitelnou v praxi. Toto přečerpání je však možné pouze při dodání vnější energie, nejčastěji elektrické, převedené na práci kompresoru, který je základní součástí tepelného čerpadla.

Základním principem činnosti tepelného čerpadla je závislost teploty pracovní látky na tlaku. Pracovní látka (tzv. chladivo) je ve výparníku vystavena prudkému snížení tlaku pomocí expanzního ventilu, čímž je snížen bod varu této pracovní látky. Tato pracovní látka se začne ve výparníku vypařovat a během této změny skupenství přejímá z nízkoteplotního zdroje skupenské (výparné) teplo. Plynná pracovní látka pokračuje dále v pracovním okruhu do kompresoru a vlivem zvýšeného tlaku dochází v kondenzátoru ke zpětnému zkapalnění pracovní látky, během kterého je opět odevzdáno skupenské teplo, zvýšené navíc o přidanou energii z kompresoru, do topného okruhu.

Výsledná energetická rovnice vypadá potom následovně?

$$Q_{t\check{c}} = Q_{nt} + Q_k$$

kde

$Q_{t\check{c}}$ – tepelná energie na výstupu z tepelného čerpadla

Q_{nt} – tepelná energie z nízkoteplotního zdroje

Q_k – energie získaná z práce kompresoru

Základním parametrem tepelného čerpadla je tzv. koeficient výkonnosti COP (Coefficient Of Performance). Tento parametr bývá často označován jako topný faktor. Jedná se o poměr topného výkonu tepelného čerpadla k energetickému příkonu za daných teplot ve výparníku a v kondenzátoru.

Jak již bylo zmíněno, tepelná čerpadla využívají teplo okolního prostředí, které je zdarma. Tepelné čerpadlo využívá solární energii, která je akumulována v zemi, vodě či ve vzduchu.

Tepelné čerpadlo země-voda

U tohoto typu tepelného čerpadla je energie čerpána ze země a k jejímu odebrání je využíváno vrtů či uložení kolektorů do země.

U systémů s vrtvy jsou ve vrtu zasunuty plastové nebo měděné sondy naplněné nemrznoucí směsí, která přenáší teplo mezi zemí a tepelným čerpadlem. Vrt bývá zaplněn suspenzí cementu a bentonitu pro lepší vodivost tepla mezi zdrojem a jímacím zařízením. Výhodou je stabilní teplota zdroje a vysoký topný faktor. Nevýhodou jsou naopak vysoké pořizovací náklady zapříčiněné potřebou vybudovat potřebné vrtvy. V praxi je využíváno pravidlo, že

na 1 kW tepelného výkonu je třeba přibližně 15 metrů hloubky vrtu. Běžně se hloubí vrty 50 až 120 metrů hluboké.

Při využití systému, kdy je teplo ze země odebíráno z plochy jsou ve zhruba metrové nezámrzné hloubce a metrovou roztečí zakopány plastové hadice naplněné nemrznoucí směsí, která přenáší teplo mezi zemí a tepelným čerpadlem. Tento způsob získávání energie je však závislý na vnějších klimatických podmínkách, protože teplo není získáváno ze země, ale je čerpáno naakumulované teplo ze slunce, deště a okolního vzduchu. Výhodou jsou nižší pořizovací náklady než u vrtů a poměrně vysoký topný faktor. Velkou nevýhodou je nutnost využití velkého pozemku. V místě položení kolektorů nelze nic stavět a ani sázet např. stromy, čímž je pozemek znehodnocen. V praxi je využíváno pravidlo, že na 1 kW tepelného výkonu je počítat cca 42 m² plochy zemního kolektoru. Instalací se tak běžně zabere 300 až 600 m² pozemku.

Tepelné čerpadlo voda-voda

Jedná se o nejvýhodnější způsob získávání tepla z hlediska topného faktoru, ale náročný na dostatečné množství zdrojové vody a především na její teplotu. Jedním ze způsobů řešení je systém s odběrem vody ze dvou studní. Spodní voda je vyčerpávána ze studny, v tepelném čerpadle je ochlazena a pak zavedena do druhé vsakovací studny. Nutností je minimální teplota vody 7 °C a vydatnost studně alespoň 0,5 l/s. V praxi platí, že na 1 kW tepelného výkonu je zapotřebí asi 150 litrů vody za hodiny. Také je nutné zajištění dostatečného oddělení obou studní, aby se voda ve vsakovací studni dostatečně ohřála předtím, než se dostane do jímací studny.

Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Při tomto způsobu řešení odebírá tepelné čerpadlo teplo z venkovního vzduchu a předává jej do vodního topného okruhu. Výhodou je nízká pořizovací cena a nenáročná instalační práce. Topný faktor při venkovní teplotě -7 °C a teplotě vody v topném okruhu 35 °C je přibližně 2,8. [26][27]

4.3.2 Solární kolektory

Solární systémy jsou technická zařízení, která převádějí energii slunečního svitu na jinou formu energie.

Touto energií může být:

- tepelná energie (termické solární systémy)
- elektrická energie (fotovoltaické solární systémy)

Termické solární systémy

Termickým solárním zařízením nazýváme takové zařízení, které využívá tepelnou energii slunečního svitu k ohřevu teplotosného média. Termické solární kolektory se využívají k ohřevu teplé vody, ohřevu vody v bazénu, ohřevu otopné vody ve vytápěcím systému nebo kombinaci uvedených způsobů využití.

Dle konstrukce dělíme sluneční kolektory na:

- ploché sluneční kolektory
- vakuové sluneční kolektory

Základním prvkem každého termického kolektoru je absorbér – deska, resp. trubice, která se nachází uvnitř kolektoru. Právě na povrchu absorbéru se sluneční záření přeměňuje na tepelnou energii.

Ploché solární kolektory – sluneční záření v plochých kolektorech je zachyceno nejprve absorbérem, kde se přímo transformuje na tepelnou energii. Tato energie je posléze pomocí teplotosné kapaliny odvedena do výměníku, kde je teplo využito k přípravě teplé vody, pro vytápění apod. Teplotosnou kapalinou je obvykle voda s příměsí ekologicky nezávadné nemrznoucí kapaliny (sloučeniny glykolu, solaren apod.). Vzhledem ke své jednoduché konstrukci jsou levnější než trubicové vakuové kolektory, ale jejich účinnost je oproti trubicovým kolektorům nižší, zejména při nízkých venkovních teplotách a snížené intenzitě slunečního záření. Využitím termických plochých kolektorů lze v podmínkách ČR ušetřit až 75 % ročních nákladů na ohřev teplé vody.

Vakuové solární kolektory – jedná se v podstatě o zdokonalený kapalinový sluneční kolektor s nižším množstvím tepelných ztrát a tedy i s vyšší účinností. V porovnání s kapalinovým kolektorem, je vakuový kolektor výkonnější, a to hlavně v době, kdy je rozdíl teploty vzduchu a kolektoru výrazný (v zimě) nebo při menším záření. Ztráty se ve vakuových kolektorech minimalizují odstraněním vzduchu z kolektoru. Solární kolektory prostřednictvím vakuované trubice zachycují sluneční záření a přeměňují jej na tepelnou energii. Vlivem působení této energie dochází k výparu teplotosné kapaliny, ta přechází

jako pára do kondenzátoru, kde předá teplo topné vodě nebo teplé vodě. Poté se ochladí, zkapalní a vrací se zpět do kolektoru. [27][28][29]

Fotovoltaické solární systémy

Fyzikální principem fotovoltaického polovodičového článku je přeměna energie proudu fotonů (sluneční záření) v energii proudu elektronů (elektrický proud). Tato přeměna lze nejlépe uskutečnit pomocí polovodičů, ve kterých lze snadno uvolnit elektrony vlivem slunečního záření a pomocí PN přechodu vytvořit v jeho okolí elektrický potenciál. Vzniklé napětí je následně zdrojem elektrického proudu. Jednotlivé články jsou sériově zapojeny v solárním panelu tak, že výsledné napětí jednoho panelu dosahuje přibližně 20 až 35 V. Celkové napětí tedy závisí na počtu článků, které obsahuje. Čím více článků je zapojeno do série, tím vyššího napětí panel dosahuje. Samotné využití získaného elektrického proudu spočívá v jeho využití v elektrickém předehřevu teplé vody. [27]

5 KOMUNIKAČNÍ SBĚRNICE A PROTOKOLY V AUTOMATIZACI BUDOV

V nových i rekonstruovaných budovách je v dnešní době hlavním požadavkem možnost využití moderních systémů a technologií, které umožňují řídit a monitorovat stav všech technologických systémů, jež jsou v budově využívány. Tyto systémy a technologie využívají různých komunikačních protokolů. Hlavně dříve mohl v případě požadavku na integraci implementovaných systémů vyvstat problém se vzájemnou komunikací, protože různé systémy komunikují po různých sběrnících pomocí různých protokolů. V současné době jsou na trhu ale již sběrnice určené přímo pro obor automatizace budov. Tyto sběrnice se vyznačují především otevřeností systému. V oboru automatizace budov je využíváno především sběrnic: EIB/KNX, LonWorks, Modbus, M-Bus či BACnet.

Pod pojmem protokol se rozumí standard, podle kterého probíhá elektronická komunikace a přenos dat mezi dvěma koncovými uživateli. Sběrnice je skupina vodičů, po níž probíhá komunikace a tato komunikace se řídí právě dle pravidel protokolu.

5.1 Sběrnice KNX

Technologie KNX (Konnex bus) je v současné době v Evropě asi nejpoužívanější otevřený standard pro inteligentní řízení budov. Tato sběrnice navazuje na systém EIB, který zavedlo v roce 1989 sdružení vedoucích firem v oblasti elektroinstalací v Evropě EIBA (European Installation Bus Association). Právě sdružení EIBA a další světoví výrobci poté založili asociaci KNXA (Konnex Association) a začali zavádět nový standard KNX. Sběrnice KNX je tedy nakonec kombinací EIB, BatiBUS a EHS (European Home Systems). Ze systému BatiBUS jsou využity převážně zkušenosti z oblasti vytápění, klimatizace a větrání. Možnost regulace je převzata převážně z technologie EIB a z vlastností EHS je nejvíce využívána schopnost monitorování provozních stavů domácích spotřebičů.

Zjednodušeně lze říci, že se jedná o decentralizovaný instalační řídicí systém pro zařízení budov, umožňující měření, regulaci, spínání, monitorování strojů, přístrojů a zařízení v budovách. Tím, že je systém KNX decentralizovaný, musí být každý připojený prvek vybaven svou vlastní inteligencí, jež je realizována mikroprocesorem. V praxi to znamená, že přenos informací mezi jednotlivými prvky je uskutečněn po sběrnici přímo mezi těmito prvky bez nutnosti existence centrálního řídicího prvku. Takovéto decentralizované systémy

mají oproti systémům s centrálním řízením jednu obrovskou výhodu. Touto výhodou je provozní spolehlivost, protože v případě poruchy jednoho prvku, není ohrožen chod zbývajících prvků sběrnice.

5.1.1 Přenosová média

Sběrnice je nejčastěji realizována dvou vodičovým vedením a pro toto vedení se nabízí hned několik typů komunikačních médií. Základní možnosti jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 16: Typy médií u KNX

Typ média	Označení	Přenos signálu
Kroucený pár	KNX TP	Paralelní dvoužilové sběrnicevé vedení
Silové vedení	KNX PL	Rozvody 230 V
Rádiový přenos	KNX RF	Rádiové vlny
IP/Ethernet	KNX IP	LAN, Internet

Kroucený pár – KNX TP

V případě krouceného páru se jedná o dva vodiče, jež jsou po své délce pravidelným způsobem obtočeny kolem sebe, což má za důsledek podstatné snížení elektromagnetické interference. Dva souběžně vedené vodiče se totiž chovají jako anténa, která při přenosu střídavého signálu vyzařuje elektromagnetické vlny. Tento efekt je minimalizován právě již zmíněným pravidelným točením vodičů kolem sebe. V systému EIB/KNX je právě kroucený pár nejvyužívanějším přenosovým médiem. V praxi se TP kabel pokládá souběžně se silnoproudým vedením, což vede k zamezení vzniku indukčních smyček. Používaná verze krouceného páru je označována jako TP 1 a vyznačuje se přenosovou rychlostí 9600 bit/s. Pro jednoznačné rozlišení vodičů bylo stanoveno i barevné značení obou žil. Červenou izolací je opatřen vodič připojený ke kladnému pólu napájecího zdroje, černou barvou je označena izolace vodiče připojeného k zápornému pólu. Pro přenos informací i napájení postačuje jeden pár vodičů, ale předepsáno je používání kabelu se dvěma kroucenými páry vodičů, přičemž druhý pár slouží jako rezerva pro případ poškození některého z vodičů sběrnice. Z důvodu snadného rozlišení od ostatních sdělovacích kabelů se doporučuje používat kabely s vnějším pláštěm v zelené barvě. Průměry měděných jader vodičů standardizovaného KNX TP 1 sběrnicevého kabelu jsou stanoveny na 0,8 mm, takže vyhovující jsou například kabely YCYM 2x2x0,8 nebo JY(St)Y 2x2x0,8.

Vlastnosti a požadavky standardizovaných kabelů:

- elektrický odpor 72Ω
- parazitní kapacita $0,12 \mu\text{F}$
- maximální délka jedné linie 1000 m
- maximální vzdálenost mezi dvěma účastníky 700 m
- maximální vzdálenost mezi účastníkem a napájecím zdrojem 350 m
- minimální vzdálenost mezi dvěma napájecími zdroji 200 m

Silové vedení – KNX PL

Jestliže není možné z jakéhokoliv důvodu využití samostatného vedení TP, existuje pro komunikaci možnost využití přímo již zavedeného silového vedení 230 V AC. Tento způsob ale není příliš rozšířený a doporučuje se spíše pouze pro řízení osvětlení či rolet. Při využití silového vedení hrozí přerušení přenosu telegramu kvůli nedefinovaným síťovým poměrům, a proto nelze tímto způsobem projektovat systémy sledující životně důležité funkce či aplikace typu řízení výtahu či nouzového volání.

Tento způsob existuje ve dvou variantách označovaných jako KNX PL 110 a KNX PL 132. Čísla představují průměr frekvencí v kHz pro log. 0 a log. 1. Varianta PL 110 se vyznačuje přenosovou rychlostí 1200 bit/s, naproti tomu u PL 132 je možné dosáhnout rychlosti 2400 bit/s.

Rádiový přenos – KNX RF

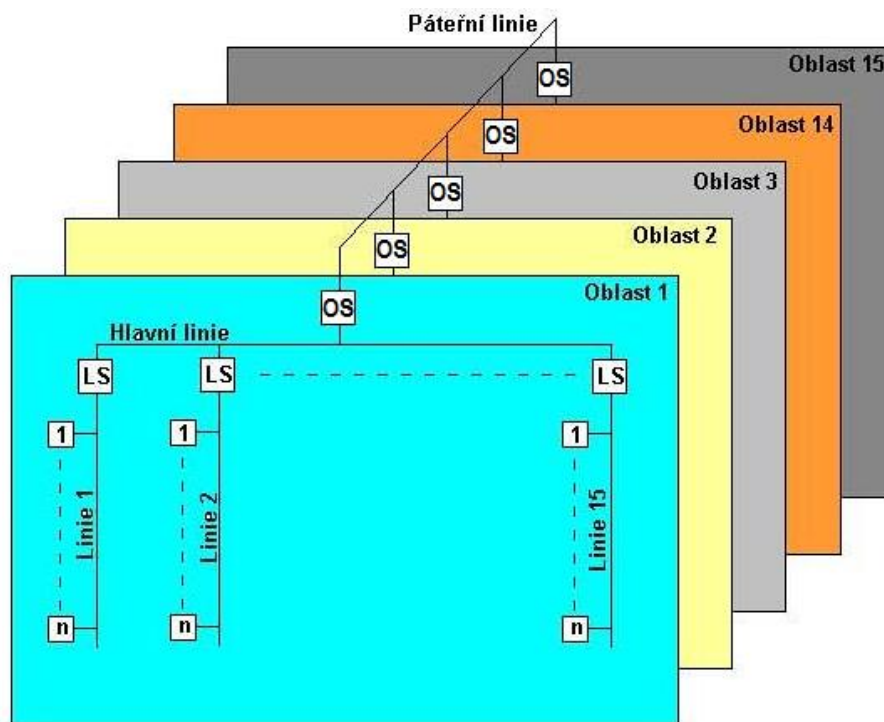
Tento způsob využívající rádiové vlny je označován jako KNX RF, přičemž je pro bezdrátovou komunikaci využívána frekvence 868 MHz. Pro kódování se používá metoda impulsní modulace FSK (Frequency Shift Keying). Maximální vzdálenost mezi účastníky je 300 m ve volném prostoru a 30 m v budově. Maximální počet účastníků v KNX RF je 64, kteří komunikují maximální přenosovou rychlostí 16,4 kbit/s. Systémem KNX RF je možno projektovat široké spektrum aplikací zahrnující regulaci vytápění, ovládání rolet, žaluzií, zabezpečovací zařízení apod.

5.1.2 Topologie systému

Základní úroveň hierarchické topologické struktury KNX je označována jako linie, pro kterou může být využito kterékoliv topologie kromě kruhové. Linie může být tvořena až 4 větvemi, přičemž každá větev vyžaduje vlastní napájecí zdroj a umožňuje připojit až 64

účastníků. Napájecí zdroj PSU – Power Supply Unit, by měl být umístěn v místě s největším odběrem proudu. Součástí zdroje musí být také tlumivka.

Celá síť KNX se skládá ze tří úrovní: páteřní linie, hlavní linie a linie. Linie lze tedy pomocí liniových spojek připojit k hlavní linii, která tvoří tzv. oblast. Platí, že jedna hlavní linie (oblast) pojme maximálně patnáct linií. Stejně tak mohou být oblasti propojeny oblastními spojkami a na tuto páteřní linii lze v rámci jedné instalaci umístit oblastí maximálně patnáct.



Obrázek 4: Topologické uspořádání systému KNX

Každé zařízení v síti KNX má přiřazenou svoji 16 bitovou fyzickou adresu, která sestává ze tří částí, vzájemně oddělených tečkami. Velikost jednotlivých částí fyzické adresy je znázorněna na následujícím obrázku.

4 bity	4 bity	8 bitů
0 ... 15	0 ... 15	0 ... 255

Obrázek 5: Fyzická adresa účastníků v síti KNX

První část adresy tvořená čtyřmi bity označuje oblast, ve které se zařízení nachází. Druhá čtyřbitová část adresy poté udává linii v dané oblasti. Posledních osm bitů označuje účastníka v linii a hodnota 0 je vyhrazena pro liniovou spojku.

Pro adresnou komunikaci je však nutné použít ještě druhého typu adresy, který dokáže vzájemně přiřadit právě ty přístroje, které si mají vyměňovat data. K tomuto účelu je využíváno skupinových adres sloužících ke komunikaci mezi zařízeními ve skupině, kdy má každá tato skupina definovanou adresu a datový typ. Skupinová adresa se zapisuje jako 15 bitové číslo, které má tvar čísel oddělených lomítky. Nejčastěji se využívá tříúrovňová skupinová adresa, např. 1/1/5, která se skládá z hlavní skupiny 0 až 15, střední skupiny 0 až 7 a podskupiny v rozsahu 0 až 255. [30][31]

5.1.3 Prvky KNX

Na sběrnici KNX lze připojit několik typů zařízení, které se nejčastěji označují jako účastníci. Tyto přístroje lze rozdělit do několika skupin:

- systémové přístroje – napájecí zdroje, datové sběrnice, sériové sběrnice, svorkovnice, tlumivky, liniové a oblastní spojky
- řídicí prvky – logické členy a moduly
- senzory (vysílací prvky)
- aktory (přijímací prvky)

Každý účastník jako např. aktor pro ovládání rolet či stmívač osvětlení se skládá ze tří částí:

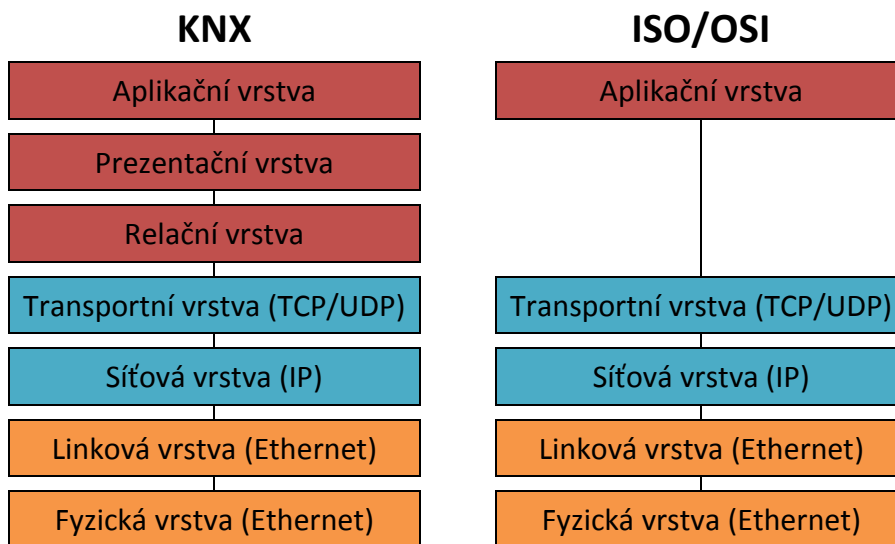
- sběrnice spojka BCU
- aplikační rozhraní AR
- aplikační modul AM

Sběrnice spojka obsahuje svorky pro připojení k dvoužilové sběrnici KNX a hlavním úkolem sběrnice spojky je být neustále na příjmu a být připraven vysílat. Spotřeba jedné sběrnice spojky smí být nejvýše 150 mW. Druh účastníka určuje převážně aplikační modul (hardware). V případě aktoru pro spínání jde o relé, u snímače teploty se jedná o tepelně závislé odpory.

Sběrnice spojka převádí signály z aplikačního modulu do datového telegramu, který posílá na sběrnici. Tento telegram poté přijmou příslušné aktory, které tuto informaci převedou do formy požadované aplikačním modulem osloveného přístroje.

5.1.4 Komunikace u KNX

System KNX používá oproti sedmivrstvému referenčnímu modelu ISO/OSI pouze pětivrstvý model. Odlišnost těchto modelů je zobrazena na následujícím obrázku.



Obrázek 6: Porovnání vrstev modelů KNX a ISO/OSI

Fyzická vrstva definuje všechny elektrické a fyzikální vlastnosti použitého média. Sleduje rozložení pinů, napěťové úrovně a také vlastnosti kabelů či způsob přenosu logických úrovní signálu. Fyzická vrstva slouží převážně pro navazování a ukončování spojení, spolupráci na rovnoměrném rozložení napájecích zdrojů mezi účastníky či modulaci a demodulaci signálů.

Linková vrstva uspořádává data z fyzické vrstvy do rámců, řadí tyto přenášené rámce a také se stará o spojení mezi dvěma účastníky. Další funkcí je detekce chyb vzniklých na fyzické vrstvě.

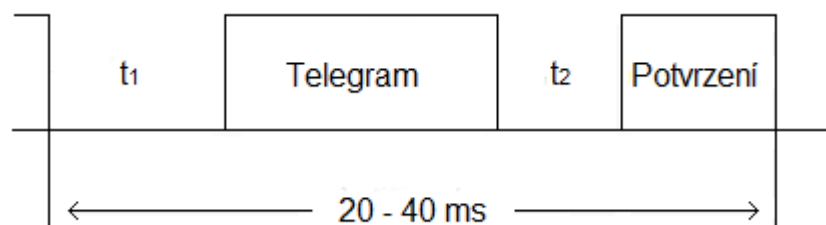
Síťová vrstva řídí směrování a síťové adresování, stará se tedy o spojení vzdálených systémů. Tato vrstva shromažďuje ve směrovacích tabulkách informace o uspořádání sítě a umožňuje tak stanovit optimální cestu pro přenos dat.

Transportní vrstva vytváří logické vazby mezi komunikujícími uzly a řídí vysílání a příjem dat. Používají se tři základní typy vazeb, a to multicast, broadcast a one-to-one.

Aplikační vrstva poskytuje aplikacím přístup ke komunikačnímu systému, čímž umožňuje jejich spolupráci. Do této vrstvy se řadí např. tyto služby a protokoly: FTP, DNS, DHCP, POP3, SMTP.

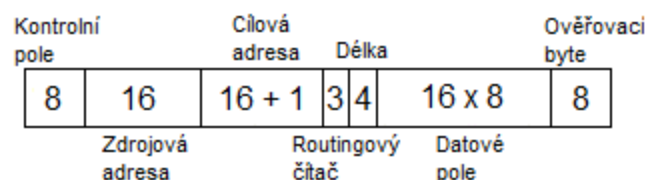
Telegram

Jak již bylo zmíněno, účastníci komunikují mezi sebou pomocí datových telegramů, jež využívají sériového digitálního kódování. Celková délka telegramu se mění v závislosti na obsahu přenášené informace. Přenos jednoho telegramu tedy může trvat od přibližně 20 ms do 40 ms. Pro přístup účastníků na sběrnici je využíváno technologie CSMA/CA, což je protokol patřící do třídy protokolů označovaných jako metody s vícenásobným přístupem a nasloucháním nosné. Jestliže účastník potřebuje odeslat telegram, naslouchá po dobu t_1 sběrnici a jestliže je sběrnice volná, odesílá svůj telegram. Poté účastník čeká dobu t_2 na potvrzení přijetí telegramu příjemcem. Pokud se tak nestane, či odesílatel obdrží hlášení o chybě, probíhá odesílání znovu, a to až třikrát.



Obrázek 7: Odesílání telegramu

Telegramy jsou po sběrnici vysílány ve formě signálů log. 0 a log. 1, jež jsou prezentovány změnou stavu napětí – napětí přítomno/napětí nulové.



Obrázek 8: Struktura telegramu KNX TP

5.1.5 Programování systémů KNX

K inicializaci celého systému je využíváno nezávislého programovacího nástroje ETS (Engineering Tool Software) umožňujícího konfiguraci všech certifikovaných produktů určených pro systém KNX. Pro všechny tyto produkty zajišťuje ETS podporu jednotným způsobem. Konfigurace certifikovaných zařízení pro KNX je možná s využitím importovaných produktových databází obsahujících aplikační programy k jednotlivým zařízením. Od roku 2010 je využíváno verze ETS4.

Komunikace PC s nainstalovaným ETS softwarem a samotnou sběrnici KNX je umožněna prostřednictvím portu RS232 nebo také pomocí USB portu.

5.2 Sběrnice LonWorks

Technologii LonWorks vyvinula firma Echelon v letech 1989 až 1992 ve spolupráci s firmami Toshiba a Motorola. Technologie vychází z obecné definice sítě zvané Local Operating Networks (LON), tj. místní datová síť. Tyto sítě jsou složeny z inteligentních zařízení a uzlů, které jsou propojeny komunikačním médiem a komunikují spolu pomocí komunikačního protokolu. V případě technologie LonWorks se využívá protokol LonTalk.

Stejně jako sběrnice KNX i sběrnice LON je decentralizovaný sběrnice systém využívající sériového přenosu dat. Sestává z uzlů (řídící systémy, regulátory), které si mezi sebou vyměňují informace. Regulátor obsahuje univerzální čip, obsahující neuronový čip a připojení na sběrnici. Neuronový čip obsahuje tři osmibitové procesory, paměti, časovací jednotku, vstupní/výstupní část a komunikační sběrnici. [32]

5.2.1 Přenosová média a topologie

U sítě LonWorks je využíváno architektury peer-to-peer s prioritním zasíláním zpráv. Komunikační model je nezávislý na fyzickém přenosovém médiu a na topologii sítě. Jako přenosové médium může být tedy využito prakticky jakékoliv vedení.

Díky nezávislosti na přenosovém médiu nalézá technologie LonWorks využití v široké škále aplikací, např. řízení spotřebičů, automatizace budov nebo dálkové odečty měřičů energie. Sběrnice LON je často využívána právě v aplikacích, které kladou důraz na délku sběrnice, a přenosová rychlost není prioritním požadavkem. Rychlost přenosu dat samozřejmě závisí na použitém přenosovém médiu a délce sběrnice, ale lze říci, že teoreticky lze dosáhnout rychlosti až 1,25 Mb/s.

Tabulka 17: LON – přenosová média a jejich max. rychlosti

Přenosové médium	Max. přenosová rychlost
EIA 485	1 Mbps
Kroucená dvojlinka (TP)	1,25 Mbps
Koaxiální kabel	1,25 Mbps
Optické vlákno	1,25 Mbps
Silové vedení (PL)	10 kbps
Radiový přenos (RF)	9,6 kbps
Infračervený přenos (IR)	78 kbps

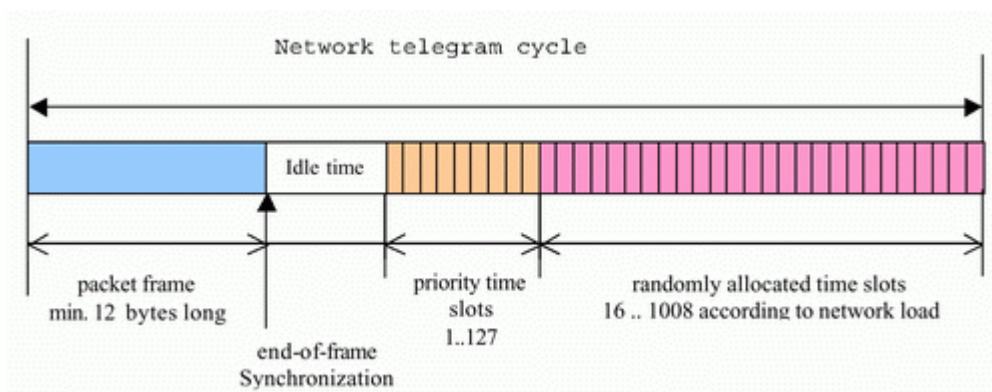
Jak již bylo naznačeno, technologie LonWorks neklade požadavky ani na použitou topologii, tudíž lze využít libovolnou topologii odvozenou z počítačových sítí.

5.2.2 LonTalk protokol

Síťový protokol LonTalk by navržen dle ISO OSI referenčního modelu, což umožňuje programům, běžícím na aplikačním CPU, komunikovat s aplikací běžící na jiném uzlu tvořeného neuronovým čipem kdekoliv ve stejné síti.

Fyzická vrstva definuje propojení po fyzickém komunikačním médiu. Jak již bylo zmíněno, lze využít velké množství přenosových médií, stačí, aby pro toto médium existoval transceiver. Každá síť může být složena z jednoho nebo více kanálů tvořených i různými přenosovými médii.

Linková vrstva ovládá a řídí přístup na médium a provádí kódování dat. Stejně jako u KNX, je i v zde pro přenášení paketů využíváno metody CSMA/CA a navíc je využíváno priorit. Vysílání paketu je ukončeno synchronizačním bitem. Poté začne každý uzel odpočítávat tzv. Priority time slots, kdy mohou mít určité uzly nebo zprávy vyšší prioritu než další a tímto způsobem se na sběrnici dostanou dříve, protože je jim odpočítáván kratší čas.



Obrázek 9: Schéma přístupu daného uzlu na sběrnici [33]

Síťová vrstva se stará o směrování a síťové adresování. K identifikaci uzlu je používána tříúrovňová adresace, kdy první úroveň značí doménu a její identifikátor může mít maximálně 6 bajtů. Druhá úroveň značí podsíť, přičemž v každé doméně může být až 255 podsítí. Třetí úroveň tvoří uzel, jenž je adresován 48bitovým identifikačním číslem. Maximální počet uzlů v podsíti je 127.

Transportní vrstva se stará o kontrolu správnosti přenosu paketů, zajišťuje potvrzování přijetí paketu a také další služby, např. služba Žádost/Odpověď či Broadcast.

Relační vrstva definuje standardní kódy zpráv pro síťový management a diagnostiku. Dále pak definuje tzv. ověřovací protokol, kterým příjemce zjišťuje, zda je odesílatel k vysílání zprávy oprávněný. Využívá se 48bitový ověřovací klíč.

Prezentační vrstva provádí vyměňování zpráv mezi aplikacemi.

Aplikační vrstva slouží pro běh aplikačních programů, které deklarují používané typy síťových proměnných apod.

5.2.3 Neuronový čip

Uzel je tvořen několika částmi, které lze rozdělit do následujících bloků:

- neuronový čip
- napájecí zdroj
- obvody rozhraní

Neuronový čip je obvykle složen ze tří nezávislých CPU, z nichž každý provádí jiné operace:

- CPU při přístup na médium
 - řídí všechny sériové komunikační porty na úrovni linkové vrstvy
 - řídí vysílání paketů dle priority
 - tvoří rámce apod.
- Síťový CPU
 - zpracovává informace na úrovni síťové vrstvy
 - adresuje uzly
 - řídí směrování paketů apod.
- Aplikační CPU
 - zpracovává uživatelské aplikace

Z výše uvedeného vyplývá, že uživatel má možnost ovládat pomocí příkazů pouze aplikační CPU, zbylé dva procesory se řídí dle vnitřního firmwaru. Aplikační programy jsou ukládány do vnitřní Flash EEPROM paměti. Datové proměnné naopak využívají paměť RAM a pro neměnný firmware slouží jako úložiště paměť ROM.

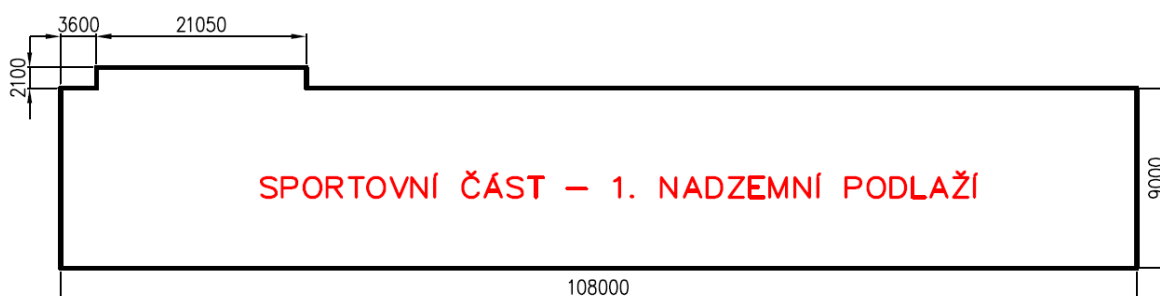
II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 POPIS OBJEKTU

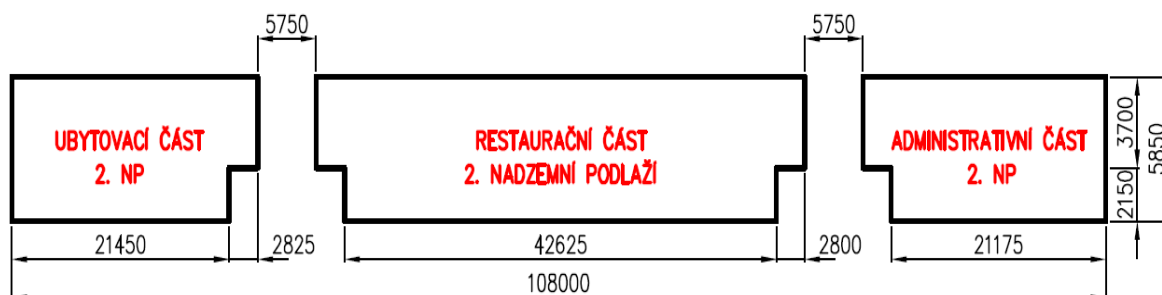
Řešený objekt je označován jako hlavní tribuna fotbalového stadionu Letná ve Zlíně, kde hrává své domácí mistrovské utkání tým FC Tescoma Zlín, který v době psaní této diplomové práce hraje II. Ligu, tedy druhou nejvyšší soutěž pořádanou Fotbalovou asociací České republiky. Budova má dvě nadzemní podlaží a její výstavba započala v roce 1975. Tribuna se stavěla téměř osm let a do provozu byla uvedena v roce 1983. Ze zadání diplomové práce vyplývá, že by se mělo jednat o sportovní budovu, což ale úplně přesně nevystihuje využití budovy, ve které se ve skutečnosti nachází také administrativní, bytová a restaurační část.

V budově má své sídlo vedení fotbalového klubu a tyto kancelářské prostory jsou orientovány v jižní části druhého nadzemního podlaží. Restauraci část skládající se hlavně z kuchyně, jídelních prostor pro veřejnost a tzv. salonku VIP se nachází ve střední části druhého nadzemního podlaží. Severní část druhého nadzemního podlaží lze charakterizovat jako ubytovací funkční celek. V této části se nachází dvě samostatné bytové jednotky, z nichž byt 3+1 obývá správce stadionu. Garsonka 1 + kk je využívána někým z realizačního či hráčského týmu.

První nadzemní podlaží je využíváno realizačním a hráčským týmem a nacházejí se zde šatny pro domácí a hostující hráče, šatny pro trenéry, rozhodčí či delegáta utkání, masérna, umývárna, prostory pro vodní regenerační procedury, sauna, odpočívárna, tiskové středisko, posilovna, prádelna a sušárna. Výměňíková stanice a elektrorozvodna jsou orientovány v jižní části prvního nadzemního podlaží.



Obrázek 10: Náčrtek půdorysu prvního nadzemního podlaží



Obrázek 11: Náčrtek půdorysu druhého nadzemního podlaží

6.1 Původní stav budovy

U zkoumané budovy byly nejprve zjišťovány hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí. Jako výchozí byl v úvahu brán fakt, že převažující návrhová vnitřní teplota $\theta_{im} = 20\text{ °C}$, a proto musí hodnoty součinitele prostupu tepla splňovat požadavky uvedené v tabulce 3, odstavce 5.2 normy ČSN 73 0540-2. U konstrukce byla navíc zkoumána také případná kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce. V následující tabulce jsou uvedeny požadavky na všechny typy konstrukcí, jež se vyskytují v řešené budově.

Tabulka 18: Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla [16]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² · K)]	
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$
Stěna vnější	0,30	těžká: 0,25
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,2	1,45
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,7	1,80
Výplň otvoru ve vnější stěně z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,5	1,2
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,7	1,2

Konstrukce byly hodnoceny pomocí modulu Teplo 2010, který je součástí softwaru Stavební fyzika. Při hodnocení konstrukcí, konkrétně při zjišťování hodnoty součinitele

prostupu tepla bylo uvažována korekce součinitele prostupu tepla na vliv systematických tepelných mostů $\Delta U = 0,1W/(m^2 \cdot K)$, což odpovídá konstrukcím s běžnými tepelnými mosty. Z hlediska vnitřních vlhkostních podmínek byla při výpočtech uvažována 4. třída vnitřní vlhkosti, která značí vysokou vlhkost. Návrhové hodnoty pro interiér sloužící k výpočtu vnitřní povrchové teploty, teplotního faktoru a bilance dle ČSN 73 0540 byly voleny pro teplotně a vlhkostně nejhorší prostory v budově. V řešené budově to jsou prostory umývárny a sprchy a také místnosti pro masáže s teplotou $\theta_{ai} = 25\text{ °C}$ a relativní vlhkostí $\varphi_{ii} = 70\text{ °C}$.

Skladba původní vnější obvodové stěny

Tabulka 19: Skladba původní vnější obvodové stěny

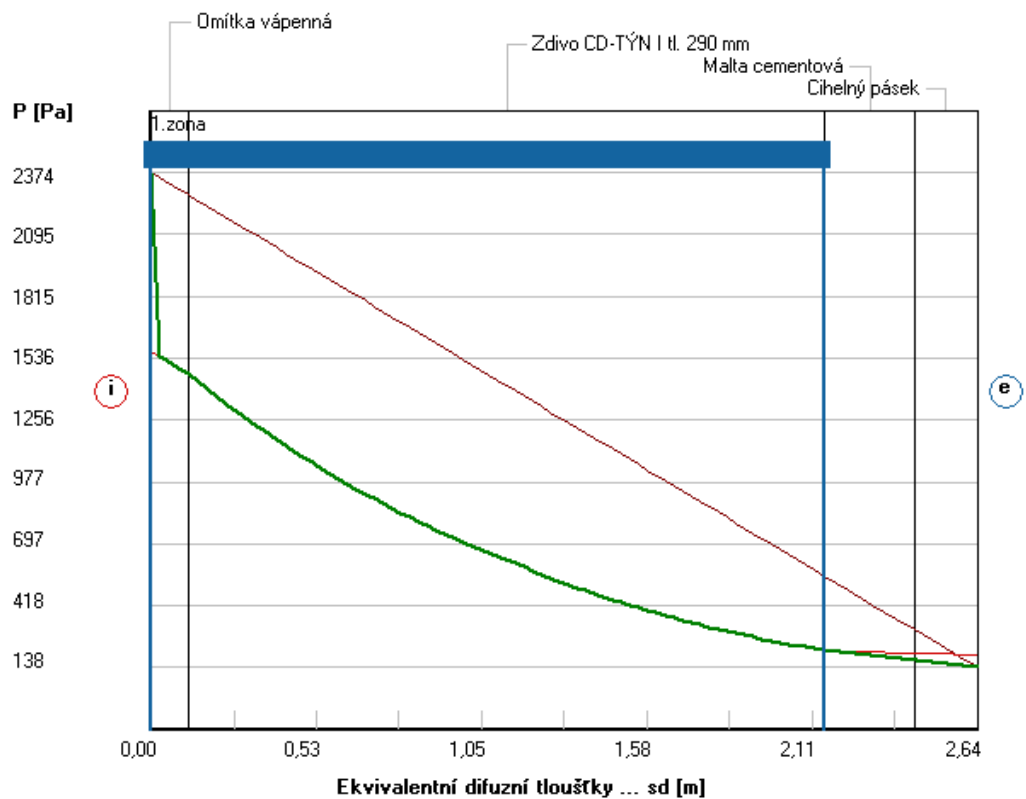
Materiál	Tloušťka	Objemová hmotnost	Součinitel tepelné vodivosti	Faktor difuzního odporu
	D [m]	ρ [kg/m^3]	λ [$W/(m \cdot K)$]	μ [–]
Omítka vápenná	0,02	1600	0,87	6
Zdivo CD-TÝN	0,29	1300	0,53	7
Malta cementová	0,015	2000	1,16	19
Cihelný pásek	0,01	2000	1,01	115

Tepelný odpor konstrukce R:	0,54 ($m^2 \cdot K$)/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U:	1,41 $W/(m^2 \cdot K)$

Z tabulky plyne, že hodnota součinitele prostupu tepla $U = 1,41W/(m^2 \cdot K)$ absolutně nevyhovuje požadavku $U_{N,20} = 0,30W/(m^2 \cdot K)$. Z toho důvodu je nutné stěnu vhodným způsobem zateplit, čímž se dosáhne požadovaného snížení hodnoty U . Na obrázku níže je ukázána kondenzace vodní páry ve vnější obvodové stěně. Velmi zřetelně lze vidět, že ke kondenzaci při daných okrajových podmínkách dochází.

Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce

Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540



Obrázek 12: Kondenzace vodní páry v konstrukci původní obvodové zdi

Skladba původní střechy

Tabulka 20: Skladba původní střechy

Materiál	Tloušťka	Objemová hmotnost	Součinitel tepelné vodivosti	Faktor difuzního odporu
	D [m]	ρ [kg/m^3]	λ [$W/(m \cdot K)$]	μ [–]
Omítka vápenná	0,015	1600	0,87	6
PZD desky	0,14	2400	1,58	29
Škvára	0,05	750	0,27	3
Polsid	0,05	60	0,039	67
Bitagit	0,004	1200	0,21	25000
Potěr cementový	0,05	2000	1,16	19

Tepelný odpor konstrukce R:	$1,37 (m^2 \cdot K)/W$
Součinitel prostupu tepla konstrukce U:	$0,66 W/(m^2 \cdot K)$

Hodnota $U = 0,66 W/(m^2 \cdot K)$ opět neodpovídá požadované hodnotě, tudíž v dalším postupu bude nutné zateplit také střechu.

Skladba podlahy

Tabulka 21: Skladba podlahy

Materiál	Tloušťka	Objemová hmotnost	Součinitel tepelné vodivosti	Faktor difuzního odporu
	D [m]	ρ [kg/m^3]	λ [$W/(m \cdot K)$]	μ [–]
Potěr cementový	0,06	2000	1,16	19
Pěnový polystyren	0,06	60	0,039	67
Fatrafol	0,002	1310	0,35	19300
Beton	0,08	2100	1,23	17
Štěrkopísek	0,1	2000	2	50

Tepelný odpor konstrukce R:	1,41 ($m^2 \cdot K$)/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U:	0,63 W/($m^2 \cdot K$)

Z předchozí tabulky pro složení podlahy plyne, že hodnota součinitele prostupu tepla $U = 0,63W/(m^2 \cdot K)$ neodpovídá požadované hodnotě $U_{N,20} = 0,45W/(m^2 \cdot K)$. V případě rekonstrukce budovy a jejího zateplování je však velmi nepravděpodobné, že by se prováděla úprava podlahy v celém objektu, a proto bude v dalších výpočtech uvažována pro podlahu hodnota $U = 0,63W/(m^2 \cdot K)$.

Skladba vnitřní stěny

Tabulka 22: Skladba vnitřní stěny

Materiál	Tloušťka	Objemová hmotnost	Součinitel tepelné vodivosti	Faktor difuzního odporu
	D [m]	ρ [kg/m^3]	λ [$W/(m \cdot K)$]	μ [–]
Omítka vápenná	0,015	1600	0,87	6
Zdivo CP 1	0,15	1700	0,8	8,5
Omítka vápenná	0,015	1600	0,87	6

Tepelný odpor konstrukce R:	0,21 ($m^2 \cdot K$)/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U:	2,65 W/($m^2 \cdot K$)

Hodnota součinitele prostupu tepla konstrukce vnitřní stěny odpovídá požadavku normy velice těsně. Požadovaná hodnota je $U_{N,20} = 2,7W/(m^2 \cdot K)$.

Skladba sádrokartonové stěny

Tabulka 23: Skladba sádrokartonové stěny

Materiál	Tloušťka	Objemová hmotnost	Součinitel tepelné vodivosti	Faktor difuzního odporu
	D [m]	ρ [kg/m^3]	λ [$W/(m \cdot K)$]	μ [–]
Sádrokartonová omítka	0,005	1300	0,57	10
Sádrokarton	0,10	750	0,22	9
Sádrokartonová omítka	0,005	1300	0,57	10

Tepelný odpor konstrukce R:	0,43 ($m^2 \cdot K$)/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U:	1,66 W/($m^2 \cdot K$)

6.2 Návrh zateplení budovy

6.2.1 Zateplení vnější stěny

Při hledání nejvhodnějšího řešení zateplovacího systému, který by zajistil splnění legislativních požadavků na hodnoty součinitele prostupu tepla pro konstrukce budovy, vycházela tato práce ze dvou požadavků. Prvním z nich bylo nalezení výrobce, který poskytuje v technických listech ke svým produktům všechny potřebné údaje, které jsou nutné k výpočtům tepelně-technických vlastností konstrukce. Druhý požadavek vychází ze skutečnosti, že budova hlavní tribuny je z vnější strany obložena pro Zlín typickým cihelným páskem a lze očekávat, že v případě zateplování vnějšího pláště budovy bude nutné tento vzhled zachovat.

Zateplovací systém je obal svislých konstrukcí snižující únik tepla z budovy. Odborně je zateplovací systém označován jako ETICS (External Thermal Insulation Composite System), tedy vnější tepelně izolační kompozitní systém.

Jak již bylo zmíněno, bylo nutné nalézt systém s vnějším obkladem a z tohoto důvodu byl zvolen certifikovaný systém společnosti LB Cemix, s.r.o. s označením Vnější tepelně izolační kompozitní systém s obkladem VKZS HELUZ s izolantem EPS F. V tomto systému je využito obkladových cihelných pásků Heluz. Použitý izolant EPS F dodává společnost Isover, která ve svých technických listech udává všechny potřebné údaje k výpočtům, čímž je splněn i druhý z původních požadavků.

Tabulka 24: Navržená skladba tepelně izolačního kompozitního systému s obkladem

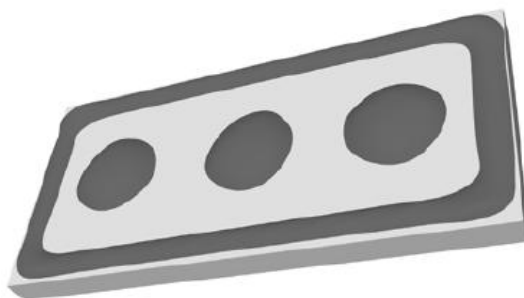
Vrstva	Součásti	Spotřeba [kg/m ²]	Tloušťka [mm]
Lepicí hmota	Lepidlo a stěrkovací hmota šedá 135	6,0 – 10,0 suché směsi	5
	Plocha lepení tvoří 40 % povrchu desky EPS		
Izolační výrobek	Desky z pěnového polystyrenu EPS 100F Fasádní	-	160
Hmota pro vytváření základní vrstvy	Lepidlo a stěrkovací hmota šedá 135	5,0 – 7,0 suché směsi	4
Skleněná síťovina	VERTEX R 117 A101	-	-
Hmoždinky	BRAVOLL PTH-KZ 60/8-215	-	-
Penetrační nátěr	Penetrace ASN	dle podkladu	-
Hmota pro lepení obkladu	Lepidlo flex extra	6,0 – 10,0 suché směsi	6
Obklad	Cihelné obkladové pásy tažené HELUZ	-	15

Tepelný odpor konstrukce R:	3,30 (m ² · K)/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U:	0,29 W/(m ² · K)

6.2.2 Technologický postup zateplení vnější stěny

Podklad musí být suchý, soudržný a únosný. Nesmí vykazovat větší nerovnost než 20 mm. Tato nerovnost je zjišťována dvoumetrovou latí. Pokud je podklad dostatečně rovný nebo je vyrovnán vyrovnávací vrstvou, je nutné jako první osadit soklový profil. Tato lišta se upevní zarážecími hmoždinkami.

Nanášení lepicí malty na polystyrenové desky je možné ručně i strojně nanášením lepidla po obvodu celé desky. Do prostoru plochy desky se poté nanese ještě další tři body. Celková plocha lepicí malty musí po dotlačení desky pokrývat 40 – 50 % plochy desky tepelného izolantu.



Obrázek 13: Princip nanášení lepicí malty na polystyrenový izolant [34]

Na celé ploše fasády je potřeba dodržovat lepení tepelného izolantu na vazbu:

- do spár mezi jednotlivými deskami se nesmí dostat lepidlo, ani stěrka
- spára mezi jednotlivými deskami EPS nesmí být umístěna na rozhraní dvou různorodých konstrukcí, nebo na průběžných trhlinách
- desky EPS musí tato místa přesahovat minimálně o 10 cm
- v místě stavebních otvorů se desky umísťují tak, aby spár mezi deskami EPS nenavazovaly na hrany stavebního otvoru

Po nalepení izolantu je nutné přistoupit k celoplošnému zapracování skleněné síťoviny. Nejdříve je celoplošně natáhnuta vrstva stěrkovácí hmoty. Tuto vrstvu lze provést v jedno nebo ve dvou vrstvách. Skleněná síťovina se zatlačí do zhruba poloviny tloušťky malty. Protlačena malta se uhladí tak, aby byla výztužná síťka dostatečně překryta materiálem. Poté se vkládá druhá vrstva síťoviny tak, aby se spoje nacházely přibližně uprostřed první vrstvy. Nakonec je opět nutné uhladit maltu a to tak, aby byla síťka překryta minimálně 1 mm materiálu.

Kotvení desek EPS se provádí po nalepení před aplikací síťoviny. K mechanickému upevnění desek EPS se používá zatluokacích talířových kotev s ocelovým trnem. Výpočet délky kotvy L_a probíhá dle následujícího vztahu:

$$L_a \geq h_D + h_{nom} + maxa_1 + maxa_2$$

kde

L_a délka hmoždinky

h_D – tloušťka tepelné izolace

h_{nom} – minimální kotevní délka kotvy

a_1 - tloušťka omítky

a_2 – tloušťka lepicího tmelu

Výpočet délky kotvy pro navrhovaný zateplovací systém vypadá následovně:

$$h_D + h_{nom} + maxa_1 + maxa_2 = 160 + 25 + 5 + 5 = 195 \text{ mm}$$

Z hlediska bezpečnosti je uvažováno využití nejbližší vyšší hodnoty délky kotvy, konkrétně tedy $L_a = 215 \text{ mm}$. Minimální počet hmoždinek je 6 ks a max. 16 ks na m^2 . Obklad je možné lepit až po úplném zavadnutí výztužné vrstvy (minimálně 3 dny). Plocha

se lehce přebrousí, nikdy se ale nesmí obnažit výztužná tkanina. Šířka vodorovné i svislé spáry je prováděna dle potřeby, nejčastěji se však využívá 10 – 12 mm.

V navrhovaném systému je využit cihelný obkladový pásek HELUZ s rozměry 250x15x65 mm. Bude-li se uvažovat tloušťka spáry 10 mm, vychází spotřeba pásků 52 ks/m².

6.2.3 Zateplení ploché střechy

Plochou střechu je nutné zabezpečit proti unikání tepla a zároveň zařídit její požární odolnost, přičemž nejvhodnější volbou je minerální izolace. Skladba pláště ploché střechy je vícevrstvá. Na parotěsnou vrstvu se položí spodní vrstva izolace. Druhá vrstva se pokládá vždy s posunutím spár, aby nedocházelo k tepelným mostům. Vrchní izolace musí být pevnější, odolná proti proslápnutí a odolná proti mechanickému namáhání. Na vrchní izolaci se nakonec pokládá hydroizolační vrstva, která chrání minerální vatu proti vlhkosti. Musí být provedena těsně v celé ploše, a pokud není k tepelné izolaci lepena, musí být mechanicky přikotvena k nosnému trapézovému plechu.

Stejně jako u tepelně izolačního kompozitního systému vnější stěny, bude i v případě tepelně izolačního systému ploché střechy využito tepelných izolací od společnosti Isover.

Tabulka 25: Navržená skladba tepelně izolačního systému ploché střechy

Vrstva	Součásti	Tloušťka [mm]
Parobrzdá	VARIO KM DUPLEX UV	0,22
	Parobrzdá s proměnnou ekvivalentní difúzní tloušťkou	
Izolační výrobek	ISOVER R	120
Izolační výrobek	ISOVER S	100
Hydroizolace	TYVEK SOLID	0,22

Tepelný odpor konstrukce R:	4,14 (m ² · K)/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U:	0,23 W/(m² · K)

6.2.4 Výměna oken

V případě vylepšování tepelně-technických vlastností budovy vnějším tepelně izolačním kompozitním systémem je naprostou samozřejmostí také výměna starých dřevěných oken za nová plastová. Výměnou oken lze uspořit nemalou část energie na vytápění. O tom, kolik tepla nová okna uspoří, nerozhoduje pouze kvalita a parametry samotných oken, ale

také jejich montáž. Norma ČSN 73 0540-2 připouští nejpozději do 31. 12. 2012 hodnotu $U_{N,20} = 1,7W/(m^2 \cdot K)$. Po tomto datu bude požadovaná hodnota zpřísněna a bude požadován součinitel prostupu tepla $U_{N,20} = 1,5W/(m^2 \cdot K)$, přičemž doporučená hodnota je $U_{N,20} = 1,2W/(m^2 \cdot K)$.

Pro řešenou budovu byla vybrána plastová okna s pětikomorovým profilem. Rám i křídlo jsou vyztuženy ocelovou pozinkovanou výztuhou. Byla vybrána okna s typem otevírání OS. Jedná se tedy o okna otevíravá a sklopná.

Výplň tvoří izolační dvojsklo 4-16-4 vyplněná argonem o koncentraci 85 %. Díky vyplnění meziskelního prostoru tímto vzácným plynem se dosahuje nižšího součinitele prostupu tepla skla. Dalším opatřením snižujícím součinitel prostupu tepla je vrstva oxidu cínu nebo v lepším případě oxidu stříbra, kterou se sklo opatří. Tato vrstva má tloušťku 0,001 mm a zabráňuje úniku tepla z vnitřního prostředí a vrací ho zpět do místnosti.

6.3 Podmínky návrhu

Budova se nachází v katastru města Zlín a v následující tabulce jsou uvedeny vnější klimatické údaje pro tuto oblast. Tyto údaje jsou převzaty z normy ČSN EN 12831.

Tabulka 26: Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit

Město	Nadmořská výška h [m]	Venkovní výpočtová teplota θ_e [°C]	Otopné období pro					
			$\theta_{em} = 12$ °C		$\theta_{em} = 13$ °C		$\theta_{em} = 15$ °C	
			θ_{es}	d	θ_{es}	d	θ_{es}	d
Zlín	234	-12	3,6	216	4,0	226	5,1	257

Použité značky:

θ_{em} [°C] - střední denní venkovní teplota pro začátek a konec otopného období

θ_{es} [°C] - střední venkovní teplota za otopné období

d [dny] - počet dnů otopného období

Pro úplnost okrajových podmínek je nutné zmínit také tyto hodnoty:

- průměrná roční teplota venkovního vzduchu
 - $\theta_{em} = 8,4$ °C
- korekční činitel zohledňující typické roční kolísání venkovní teploty
 - $f_{g1} = 1,45$

Návrhové hodnoty parametrů vnitřního prostředí řeší jak norma ČSN EN 12831, tak také norma ČSN 730540. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty pro všechny místnosti nacházející se v řešeném objektu.

Tabulka 27: Návrhové hodnoty parametrů vnitřního prostředí

Druh místnosti	Návrhová vnitřní teplota v zimním období θ_i [°C]	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu φ_i [%]
Obytná část		
Obývací místnosti (pokoje, ložnice, jídelny)	20	50
Kuchyně	20	50
Koupelny	24	70
Administrativní část		
Kanceláře, zasedací místnosti	20	50
Restaurační část		
Jídelny	20	50
Kuchyně	24	80
Sportovní část		
Posilovna	20	50
Šatny	22	50
Umývárny, sprchy, masérny	24	70
Sauna	115	0
Ostatní		
Vytápěné vedlejší místnosti (chodby, aj.)	15	50
Výměňíková stanice	15	60

7 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT

Výpočet tepelných ztrát je řešen v normě ČSN EN 12831 z března 2005, která nahradila dřívější normu ČSN EN 12831 (06 02 06) z července 2003.

Celková návrhová tepelná ztráta vytápěného prostoru

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} [W]$$

kde

$\Phi_{T,i}$ – návrhová tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru (i) [W]

$\Phi_{V,i}$ – návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i) [W]

Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla $\Phi_{T,i}$ pro vytápěný prostor (i)

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) [W]$$

kde

$H_{T,ie}$ – součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) pláštěm budovy [W/K]

$H_{T,iue}$ – součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) nevytápěným prostorem (u) [W/K]

$H_{T,ig}$ – součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) v ustáleném stavu [W/K]

$H_{T,ij}$ – součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru (i) do sousedního prostoru (j) vytápěného na výrazně jinou teplotu [W/K]

$\theta_{int,i}$ – výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru (i) [°C]

θ_e – výpočtová venkovní teplota [°C]

Návrhová tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ pro vytápěný prostor (i)

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) [W]$$

kde

$H_{V,i}$ – součinitel návrhové tepelné ztráty větráním [W/K]

Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním $H_{V,i}$ se poté vypočítá ze vztahu:

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \cdot \rho \cdot c_p$$

kde

\dot{V}_i – výměna vzduchu ve vytápěném prostoru (i) [m^3/s]

ρ – hustota vzduchu při $\theta_{int,i}$ [kg/m^3]

c_p – měrná tepelná kapacita vzduchu při $\theta_{int,i}$ [$\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$]

Při předpokladu konstantního ρ a c_p se rovnice zjednoduší na tvar

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_i$$

kde

\dot{V}_i je nyní vyjádřena v [m^3/h]

7.1 Ukázka výpočtu tepelných ztrát místnosti 1.19

7.1.1 Výpočet návrhové tepelné ztráty prostupem tepla

Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí – součinitel tepelné ztráty $H_{T,ie}$

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_I \psi_I \cdot I_I \cdot e_I$$

kde

A_k – plocha stavební části (k) [m^2]

e_k, e_I – korekční součinitel vystavení povětrnostním vlivům při uvažování klimatických vlivů jako je různé oslunění, pohlcování vlhkosti stavebními díly, rychlost větru a teplota

U_k – součinitel prostupu tepla stavební části (k) [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$]

I_I – délka lineárních tepelných mostů (I) mezi vnitřním a venkovním prostředím v metrech

ψ_I – činitel lineárního prostupu tepla lineárního tepelného mostu (I) [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]

Pro tento výpočet však bylo využito zjednodušené metody pro stanovení lineárních tepelných ztrát:

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

kde

U_{kc} – korigovaný součinitel prostupu tepla stavební části (k), který zahrnuje lineární tepelné mosty [$W/m^2 \cdot K$]

U_k – součinitel prostupu tepla stavební části (k) [$W/m^2 \cdot K$]

ΔU_{tb} – korekční součinitel závisující na druhu stavební části [$W/m^2 \cdot K$]

Výpočet tepelné ztráty prostupem přes zateplenou obvodovou zeď (HELUZ)

$$H_{T,ie} = A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k = 13,2 \cdot (0,19 + 0,10) \cdot 1 = 3,83 W/K$$

Výpočet tepelné ztráty prostupem přes okno

$$H_{T,ie} = A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k = 2,25 \cdot (1,1 + 0,4) \cdot 1,15 = 3,88 W/K$$

Tepelné ztráty do přilehlé zeminy – součinitel tepelné ztráty $H_{T,ig}$

Hodnota tepelné ztráty prostupem do zeminy v ustáleném stavu $H_{T,ig}$ z vytápěného prostoru (i) do zeminy se určí z rovnice:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_w$$

kde

f_{g1} – korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty

f_{g2} – teplotní redukční činitel zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou a výpočtovou teplotou, stanoví se jako:

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e}$$

kde

A_k – plocha stavebních částí (k), které se dotýkají zeminy [m^2]

$U_{equiv,k}$ – ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části (k) [$W/m^2 \cdot K$]

G_w – korekční činitel zohledňující vliv spodní vody

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla $U_{equiv,k}$ se stanoví na základě hodnoty prostupu tepla U podlahy a charakteristického parametru B' .

$$B' = \frac{A_g}{0,5 \cdot P}$$

kde

A_g – plocha uvažované podlahové konstrukce [m^2]

P – obvod uvažované podlahové konstrukce [m^2]

Po dosazení do uvedeného vztahu se získá, vychází hodnota B' následovně:

$$B' = \frac{52,81}{0,5 \cdot 9,1} = 11,6$$

Hodnota prostupu tepla podlahy je $U = 0,63 W/m^2 \cdot K$ a hodnota charakteristického parametru $B' = 11,6$. Na základě obrázku 3 a tabulky 4 z kapitoly 7.1.2 normy ČSN EN 12831 byla stanovena hodnota $U_{equiv,k} = 0,24 W/m^2 \cdot K$.

Dalším krokem je stanovení hodnoty teplotního redukčního činitele f_{g2} :

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e} = \frac{22 - 8,4}{22 + 12} = 0,4$$

Teď již je možné určit součinitele tepelné ztráty $H_{T,ig}$:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_w = 1,45 \cdot 0,4 \cdot (52,81 \cdot 0,24) \cdot 1 = 7,22 W/K$$

Tepelné ztráty do nebo z vytápěných prostorů při různých teplotách – součinitel tepelné ztráty $H_{T,ij}$

Hodnota součinitele tepelné ztráty $H_{T,ij}$ se vypočítá ze vztahu

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{i,j} \cdot A_k \cdot U_k [W/K]$$

kde

$f_{i,j}$ – redukční teplotní činitel, určí se ve vztahu

Stanovení $f_{i,j}$ je možné z následujícího vztahu:

$$f_{i,j} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{vytápěného\ souseďního\ prostoru}}{\theta_{int,i} - \theta_e}$$

Zkoumaná místnost sousedí celkem se třemi odlišně vytápěnými místnostmi. Spojovací chodba je vytápěna na teplotu 15 °C, umývárna se sprchami na teplotu 24 °C a další chodba na teplotu 20 °C. I když se jedná o chodbu, která má být dle normy vytápěna na teplotu 15 °C, zvolil jsem hodnotu návrhové teploty 20 °C, protože je využívána hráči jako spojení mezi saunou, odpočívárnou a šatnou, a tudíž teplota 15 °C příliš neodpovídá využití této místnosti.

Stanovení součinitele $H_{T,ij}$ pro konstrukce mezi zkoumanou místností (šatna domácích) vytápěnou na 22 °C a spojovací chodbou vytápěnou na 15 °C:

$$f_{i,15} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{vytápěného\ souseďního\ prostoru}}{\theta_{int,i} - \theta_e} = \frac{22 - 15}{22 + 12} = 0,21$$

Určení hodnoty pro vnitřní stěnu:

$$H_{T,i15s} = \sum_k f_{i,j} \cdot A_k \cdot U_k = 0,21 \cdot 3,6 \cdot 2,65 = 2,00W/K$$

Určení hodnoty pro dveře mezi těmito prostory:

$$H_{T,i15d} = \sum_k f_{i,j} \cdot A_k \cdot U_k = 0,21 \cdot 1,8 \cdot (2 + 0,5) = 0,94W/K$$

Stanovení součinitele $H_{T,ij}$ pro konstrukce mezi zkoumanou místností (šatna domácích) vytápěnou na 22 °C a umývárnu vytápěnou na 24 °C:

$$f_{i,24} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{vytápěného\ souseďního\ prostoru}}{\theta_{int,i} - \theta_e} = \frac{22 - 24}{22 + 12} = -0,06$$

Určení hodnoty pro vnitřní stěnu:

$$H_{T,i24s} = \sum_k f_{i,j} \cdot A_k \cdot U_k = -0,06 \cdot 21 \cdot 2,65 = -3,34W/K$$

Určení hodnoty pro dveře mezi těmito prostory:

$$H_{T,i24d} = \sum_k f_{i,j} \cdot A_k \cdot U_k = -0,06 \cdot 1,8 \cdot (2 + 0,5) = -0,27W/K$$

Stanovení součinitele $H_{T,ij}$ pro konstrukce mezi zkoumanou místností (šatna domácích) vytápěnou na 22 °C a chodbou vytápěnou na 20 °C:

$$f_{i,20} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{vytápěného\ souseďního\ prostoru}}{\theta_{int,i} - \theta_e} = \frac{22 - 20}{22 + 12} = 0,06$$

Určení hodnoty pro vnitřní stěnu:

$$H_{T,i20s} = \sum_k f_{i,j} \cdot A_k \cdot U_k = 0,06 \cdot 23,4 \cdot 2,65 = 3,72W/K$$

Určení hodnoty pro dveře mezi těmito prostory:

$$H_{T,i20d} = \sum_k f_{i,j} \cdot A_k \cdot U_k = 0,06 \cdot 1,8 \cdot (2 + 0,5) = 0,27W/K$$

Stanovení součinitele $H_{T,ij}$ pro konstrukce mezi zkoumanou místností (šatna domácích) vytápěnou na 22 °C a sušárnou vytápěnou na 24 °C:

$$f_{i,24} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{vytápěného\ souseďního\ prostoru}}{\theta_{int,i} - \theta_e} = \frac{22 - 24}{22 + 12} = -0,06$$

Určení hodnoty pro starou zděnou konstrukci oddělující dané místnosti:

$$H_{T,i24s} = \sum_k f_{i,j} \cdot A_k \cdot U_k = -0,06 \cdot 14,4 \cdot 1,41 = -1,22W/K$$

Hodnota návrhové tepelné ztráty prostupem tepla tedy vypadá následovně:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e)$$

$$\Phi_{T,i} = [(3,83 + 2 \cdot 3,88) + 7,22 + (2,00 + 0,94 - 3,34 - 0,27 + 3,72 + 0,27 - 1,22)] \cdot (22 + 12)$$

$$\Phi_{T,i} = 20,91 \cdot 34 = 711 W$$

7.1.2 Výpočet návrhové tepelné ztráty větráním

Hodnota součinitele návrhové tepelné ztráty větráním:

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_i = 0,34 \cdot 2 \cdot 140,1 = 95,27 W/K$$

Hodnota návrhové tepelné ztráty větráním poté vypadá následovně:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) = 95,27 \cdot (22 + 12) = 3239 W$$

7.1.3 Výpočet celkové návrhové tepelné ztráty místnosti 1.19

Hodnota návrhové tepelné ztráty tvořené prostupem a větráním:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} = 711 + 3239 = 3950 \text{ W}$$

7.1.4 Výpočet tepelného zátopového výkonu

Zátopový tepelný výkon požadovaný pro nahrazení účinku přerušovaného vytápění $\Phi_{RH,i}$ ve vytápěném prostoru (i) se vypočte:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH}$$

A_i – podlahová plocha vytápěného prostoru (i) [m²]

f_{RH} – korekční součinitel závisící na době zátopu a předpokládaném poklesu vnitřní teploty v útlumové době [W/m²]

Pro stanovení zátopového tepelného výkonu je nutné určit pomocí tabulky D.10a z normy ČSN EN 12831 hodnotu korekčního součinitele f_{RH} , výpočet poté vypadá následovně:

$$\Phi_{RH,i} = 52,81 \cdot 16 = 845 \text{ W}$$

7.1.5 Stanovení návrhového tepelného výkonu pro vytápěný prostor

Jelikož je vytápění u zkoumané místnosti přerušované, je nutné k celkové návrhové tepelné ztrátě místnosti 1.19 připočíst hodnotu tepelného zátopového výkonu. Teprve poté získáme hodnotu tepelného výkonu $\Phi_{HL,i}$ pro vytápěný prostor (i)

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} = 710 + 3239 + 845 = 4795 \text{ W}$$

Jestliže porovnáme hodnoty zjištěné ručním výpočtem s hodnotami získanými z protokolu generovaného modulem Ztráty 2010, který je součástí programu Stavební fyzika, zjistíme, že hodnoty si poměrně přesně odpovídají a celková odchylka způsobená zaokrouhlováním na setiny činí pouze 1 W.

REKAPITULACE ZADÁNÍ A TEPELNÉ ZTRÁTY MÍSTNOSTI

Číslo podlaží :	1	Název podlaží :	1NP
Číslo místnosti :	119	Název místnosti :	Šatna_domác
Půd. plocha A :	52.8 m ²	Objem vzduchu V :	140.1 m ³
Exp. obvod P :	9.1 m	Počet na podlaží :	1
Teplota T _i :	22.0 C	Typ vytápění :	převažující přirozená konvekce
Vytápění :	přerušované	Trvalý tepelný zisk F _{i,z} :	0 W
Pokles T _i :	2.0 C	Trvání zátopu :	2.0 h
Typ větrání :	přirozené	Min. hyg. výměna :	2.0 1/h
Výměna n50 :	2.0 1/h	Činitelé e + epsilon :	0.00 + 1.00

Název konstrukce	Plocha	U	Korekce	DeltaU	U _{eq}	H,T
HELUZ	13.2	0.29	e = 1.00	0.00	-----	3.83 W/K
Okno	2.3	1.10	e = 1.15	0.40	-----	3.88 W/K
Okno	2.3	1.10	e = 1.15	0.40	-----	3.88 W/K
Podlaha	52.8	0.63	Gw= 1.00	-----	0.24	7.22 W/K
Vnitřní_stěna	21.0	2.65	f _i = -0.06	0.05	-----	-3.34 W/K
Dveře_vnitřní	1.8	2.00	f _i = -0.06	0.50	-----	-0.26 W/K
Vnitřní_stěna	23.4	2.65	f _i = 0.06	0.05	-----	3.72 W/K
Dveře_vnitřní	1.8	2.00	f _i = 0.06	0.50	-----	0.26 W/K
Vnitřní_stěna	3.6	2.65	f _i = 0.21	0.05	-----	2.00 W/K
Dveře_vnitřní	1.8	2.00	f _i = 0.21	0.50	-----	0.93 W/K
Old_zděná_konst	14.4	1.41	f _i = -0.06	0.05	-----	-1.24 W/K

Zvýšení výkonu kvůli přerušení vytápění F_{i,RH} : **845 W**
 Násobnost výměny vzduchu n : 2.00 1/h

Ztráta prostupem F_{i,T} : **710 W.** tj. 1.9 % z celkové ztráty prostupem objektu
 Ztráta větráním F_{i,V} : **3239 W.** tj. 6.8 % z celkové ztráty větráním objektu
 Ztráta celková F_{i,HL} : **4794 W.** tj. 4.7 % z celkové ztráty objektu

Obrázek 14: Tepelné ztráty místnosti 1.19 dle programu Ztráty 2010

7.2 Návrhový tepelný výkon budovy

Po zateplení vnějšího pláště a střechy budovy vychází celkový návrhový tepelný výkon budovy roven hodnotě $\Phi_{HL,i} = 101,4 \text{ kW}$.

CELKOVÉ TEPELNÉ ZTRÁTY OBJEKTU

Součet tep.ztrát (tep.výkon) F_{i,HL}	101.421 kW	100.0 %
Součet tep. ztrát prostupem F _{i,T}	36.755 kW	36.2 %
Součet tep. ztrát větráním F _{i,V}	47.697 kW	47.0 %
Korekce ztrát (zisky, přeruš. vytápění) :	16.968 kW	16.7 %

Obrázek 15: Celkové tepelné ztráty objektu – Ztráty 2010

8 NÁVRH VÝMĚNÍKOVÉ STANICE

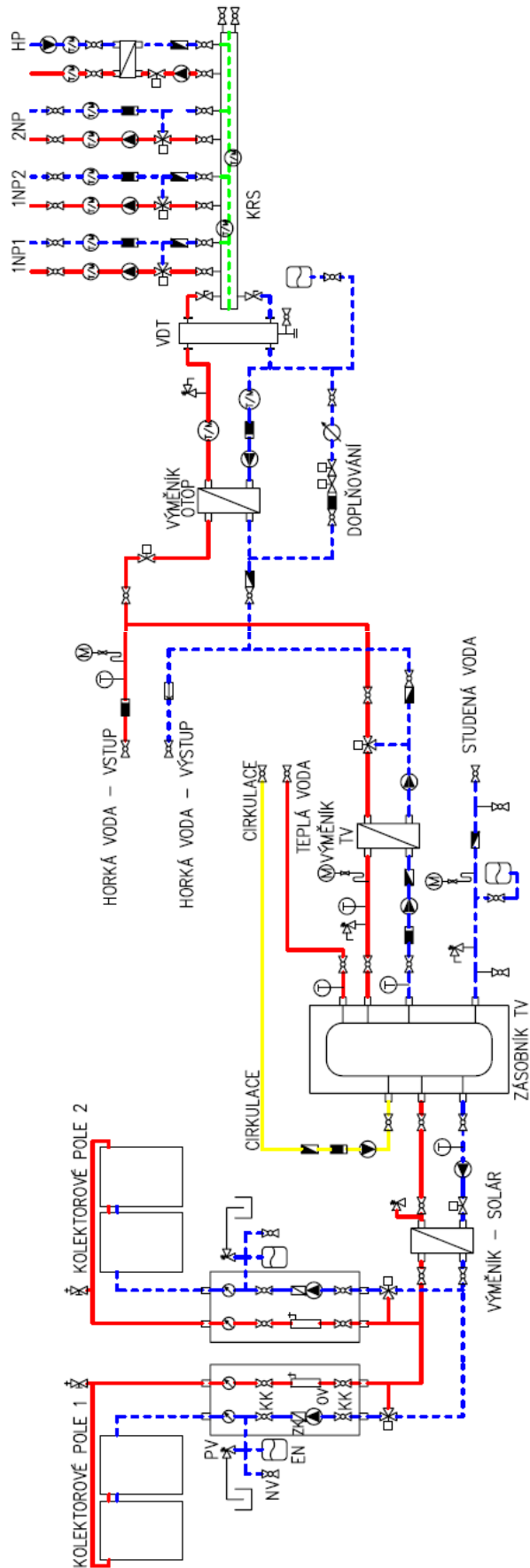
V objektu bude prováděna transformace tepla z horké vody v teplou vodu, která je dále využívána pro zásobování objektu teplem. Předávací stanice tepla bude řešena jako tlakově nezávislá. Primárním topným médiem bude horká voda o teplotním spádu 130/70°C a přetlaku 1,0 MPa, sekundárním topným médiem je topná voda o teplotním spádu 75/60 °C. Předávací stanice bude obsahovat jeden samostatný deskový výměník tepla pro přípravu topné vody pro vytápění a dále pak druhý samostatný výměník tepla pro přípravu topného média pro vytápění fotbalového trávníku. Pro ohřev teplé užitkové vody budou využity dva externí výměníky tepla, z nichž jeden bude umístěn v solárním systému a jeden bude dohřívat teplou vodu při nedostatku výkonu solárních kolektorů transformací tepla z horké vody v teplou vodu.

Pro předávací stanici je požadován automatický bezobslužný provoz s možností dálkového přístupu přes webové rozhraní.

Tento systém bude hlídat i veškeré havarijní stavy:

- překročení maximální teploty topné vody
- pokles tlaku v topné soustavě pod minimální hodnotu
- dlouhodobé doplňování vody do topného systému
- překročení maximální teploty vzduchu v místnosti instalace
- zaplavení místnosti instalace

Výměníková stanice je umístěna v přízemí na jižní straně objektu, konkrétně v místnosti 1.48.



Obrázek 16: Schéma výměňkové stanice

8.1 Otopná soustava

Základním prvkem výměňkové stanice pro ohřev topné vody bude deskový výměník. Otopná soustava bude navržena jako uzavřený otopný systém, zabezpečený pojistným ventilem a tlakovou expanzní nádobou dle ČSN 06 0830. Na vstupu primárního topného média bude umístěn regulační ventil s havarijní funkcí zajišťující spojitou regulaci výkonu výměňkové stanice. Jako regulační armatury je využít ucpávkový regulační ventil, který není citlivý na případné rázy v rozvodech primárního média.

Na sekundární straně budou napojeny tři otopné větve, a to pomocí kompaktního rozdělovače se sběračem, který bude od výměňkového okruhu oddělen vyrovnávačem dynamických tlaků. Ke kompaktnímu rozdělovači se sběračem bude taktéž připojena jedna větev určená pro vzduchotechniku a jedna větev s externím výměníkem tepla pro ohřev nemrznoucí směsi určené k vyhřívání trávníku. Teplotní spád okruhu vyhřívání trávníku je 25/5 °C.

Rozdělení na tři samostatné okruhy zajistí lepší možnost regulace těchto samostatných okruhů, které se mohou na východní a západní straně budovy chovat rozdílně. Jedná se vlastně o zónovou regulaci, kdy místnosti zásobované jedním hydraulickým okruhem (zónou) vykazují velmi obdobné tepelně-technické chování. Otopné větve budou osazeny čerpadly s elektronicky řízenými otáčkami a pomocí třicestných regulačních ventilů bude zajištěna jejich ekvitermní regulace.

Doplňování topné vody do systému je automatické, ze zpětného potrubí primárního média přes elektroventily spínané regulačním systémem při poklesu tlaku na sekundární straně pod minimální hodnotu. Všechny citlivé armatury, tedy čerpadla či regulační ventily jsou chráněny filtry mechanických nečistot.

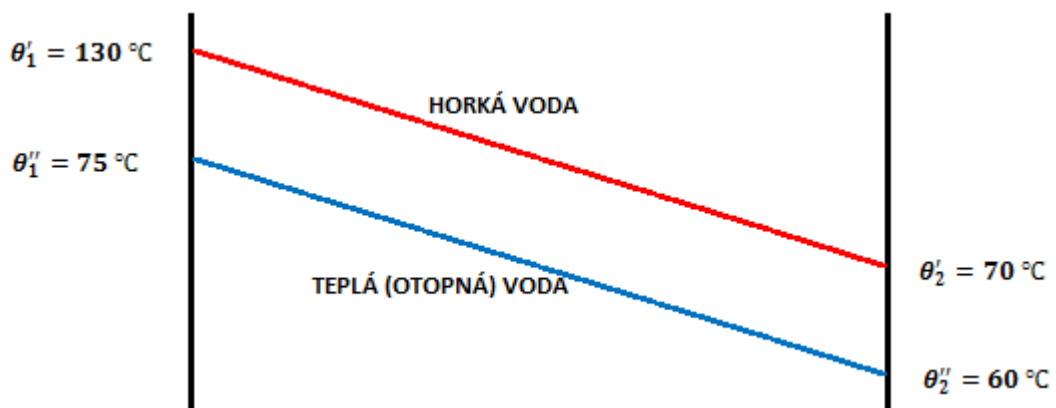
Součástí bude i řídicí a monitorovací systém zajišťující automatický chod otopné soustavy. Tento systém bude hlídat i veškeré havarijní stavy:

- překročení maximální teploty topné vody
- pokles tlaku v topné soustavě pod minimální hodnotu
- dlouhodobé doplňování vody do topného systému
- překročení maximální teploty vzduchu v místnosti instalace
- zaplavení místnosti instalace

8.1.1 Dimenzování výměníku horká voda – teplá voda

Při dimenzování výměníku pro otopnou soustavu se vychází z několika základních poznatků a požadavků:

- deskový protiproudý výměník voda-voda
- teplotní spád na primární straně 130/70 °C
- teplotní spád na sekundární straně 75/60 °C
- minimální tepelný výkon $Q = 101,4 \text{ kW}$, respektive součet výkonu otopných těles navržených k pokrytí tepelných ztrát objektu $Q = 113,3 \text{ kW}$



Obrázek 17: Protiproudý výměník tepla pro přípravu topné vody

Jestliže bude výkon všech otopných těles maximální, bude průtok na sekundární straně následující

$$\dot{V}'' = \frac{Q}{c_p'' \cdot \rho \cdot (\theta_1'' - \theta_2'')} \cdot 3600 = \frac{113300}{4181 \cdot 979,2 \cdot 15} \cdot 3600 = 6,64 \text{ m}^3/\text{h}$$

Průtok na primární straně by v tomto případě byl následující

$$\dot{V}' = \frac{Q}{c_p' \cdot \rho \cdot (\theta_1' - \theta_2')} \cdot 3600 = \frac{113300}{4213,7 \cdot 957,8 \cdot 60} \cdot 3600 = 1,68 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tím ale návrh výměníku nekončí, protože se musí uvažovat také spuštění okruhu vyhřívání hrací plochy s výměníkem tepla o výkonu 1500 kW. Primárním médiem tohoto výměníku je topná voda se spádem 75/60 °C, uvažovaný průtok tedy bude vypadat následovně

$$\dot{V}'_{trávnik} = \frac{Q}{c_p' \cdot \rho \cdot (\theta_1' - \theta_2')} \cdot 3600 = \frac{1500000}{4181 \cdot 979,2 \cdot 15} \cdot 3600 = 87,93 \text{ m}^3/\text{h}$$

Součtem těchto objemových průtoků na sekundární straně výměníku dostáváme hodnotu $\dot{V} = 94,57 \text{ m}^3/\text{h}$. Tomuto požadavku odpovídá pájený deskový výměník tepla CB 200-124M od výrobce Alfa Laval. Tyto pájené deskové výměníky tepla jsou tvořeny souborem desek lisovaných z plechu nerezové oceli. Měděná pájka vzájemně tyto desky spojuje nejen po jejich obvodu, ale i ve všech styčných místech sousedících desek.



Obrázek 18: CB 200-124M

Poté, co se voda ve výměníku ohřeje na požadovaných $75 \text{ }^\circ\text{C}$, je potrubím dovedena do kompaktního rozdělovače se sběračem, který tvoří rozhraní mezi sekundárním teplovodním okruhem zdroje tepla a jednotlivými hydraulickými okruhy topného systému.



Obrázek 19: Kompaktní rozdělovač a sběrač RacioTerm

Zdroj tepla je na kompaktní rozdělovač a sběrač připojen přes vyrovnávač dynamických tlaků, díky kterému je vyrušen přebytek dynamického tlaků oběhových čerpadel primárního okruhu přenášeny do topné soustavy, čímž je vytvořena hydraulická stabilita otopné soustavy. Průtok vody primární okruhem není ovlivněn otopnou soustavou. Vyrovnávač dynamických tlaků je navíc ve své horní části vybaven automatickým odvzdušňovacím ventilem.



Obrázek 20: Hydraulický vyrovnávač dynamických tlaků

8.1.2 Dimenzování oběhových čerpadel a návrh třicestných ventilů

Celkem byly pro vytápění budovy navrženy tři otopné okruhy, z nichž každý okruh má jinou požadovanou délku a výkon v závislosti na množství a typu otopných těles vyskytujících se v daném okruhu. Pro veškeré potrubní rozvody se uvažují kruhové měděné trubky.

Tabulka 28: Okruhy otopné soustavy

Název okruhu	Výkon P [W]	Délka l [m]
Okruh 1 (1NP východ)	21521	229
Okruh 2 (1NP západ)	48350	203
Okruh 3 (2NP západ)	43340	252

Pro návrh jednotlivých oběhových čerpadel je nejdříve nutné stanovit tlakovou ztrátu okruhů. Výpočet bude ukázán na příkladu okruhu ve východní části prvního nadzemního podlaží.

Tabulka 29: Parametry otopné soustavy

Parametr	Hodnota
Teplota přívodní vody	75 °C
Teplota vratné vody	60 °C
Střední teplota	67,5 K
Rozdíl teplot	15 K
Měrná hmotnost	979,2 kg/m ³
Měrná tepelná kapacita	4181,8 J/kg.K

Nejprve se stanoví objemový průtok \dot{V} daného okruhu, a to ze vztahu

$$\dot{V} = \frac{P}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta\theta} = \frac{21521 \cdot 1000}{979,2 \cdot 4181,8 \cdot 15} = 0,35 \text{ l/s} = 1,261 \text{ m}^3/\text{h}$$

kde

P – součet výkonů otopných těles v daném okruhu [W]

ρ – měrná hmotnost vody [kg/m³]

c_p – měrná tepelná kapacita vody pro teplotu [J/kg.K]

$\Delta\theta$ – teplotní spád v daném okruhu [K]

Ze stanoveného objemového průtoku $\dot{V} = 1,261 \text{ m}^3/\text{h}$ se dále určí průměr potrubí d

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot w}}$$

Aby bylo možné stanovit průměr potrubí, je nejdříve nutné zvolit rychlost proudění vody v potrubí. Jako doporučené se pro hlavní horizontální rozvodné potrubí uvádí rychlosti v rozmezí $w = 0,6 \div 1 \text{ m/s}$. Volbou nižší rychlosti a většího potrubí vychází vyšší investiční náklady, ale nižší náklady na provoz čerpadla. Po důkladnějších propočtech byla zvolena rychlost $w = 0,71 \text{ m/s}$. Po jejím dosazení se získá průměr potrubí.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00035}{\pi \cdot 0,71}} = 0,025 \text{ m}$$

Z předchozího výpočtu vychází, že se použije potrubí s označením Cu 28x1,5.

Dalším krokem je stanovení Reynoldsova kritéria, které určuje, o jaký typ proudění se jedná. Ke stanovení Reynoldsova kritéria je nutné ale nejdříve zjistit kinematickou viskozitu ν

$$\nu = \frac{1,79 \cdot 10^{-6}}{1 + 0,0337 \cdot \theta_{stř} + 0,000221 \cdot \theta_{stř}^2} = \frac{1,79 \cdot 10^{-6}}{1 + 0,0337 \cdot 67,5 + 0,000221 \cdot 67,5^2} = 4,18 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Samotný vztah pro Reynoldsovo kritérium pak vypadá následovně

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{0,71 \cdot 0,025}{4,18 \cdot 10^{-7}} = 42464 [-]$$

Jelikož je hodnota Reynoldsova kritéria vyšší než $Re = 4000$, jedná se o turbulentní proudění. Reynoldsovo kritérium je poté využito k výpočtu součinitele tření λ , a to pomocí následujícího vztahu

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}} = \frac{0,316}{\sqrt[4]{42464}} = 0,022 [-]$$

Vztah pro výpočet tlakové ztráty třením Δp_λ má tvar

$$\Delta p_\lambda = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho$$

Dosazením vypočítaných veličin do předešlé rovnice získáme hodnotu tlakové ztráty třením Δp_λ

$$\Delta p_\lambda = 0,022 \cdot \frac{229}{0,025} \cdot \frac{0,71^2}{2} \cdot 979,2 \doteq 49737 \text{ Pa}$$

Jelikož je přesné stanovení vřazených odporů poměrně složité, použije se paušální hodnota podílu ztrát vřazenými odpory na celkové tlakové ztrátě. Hodnota doporučená při rekonstrukci starých budov s členitým rozvodem a nuceným oběhem vody se pohybuje kolem 50 % tlakové ztráty třením. Počítaný okruh však příliš členitý není, tudíž byla použita hodnota pouze 30 %.

Tlaková ztráta vřazenými odpory Δp_ξ tedy byla stanovena následujícím způsobem

$$\Delta p_\xi = 0,3 \cdot \Delta p_\lambda = 0,3 \cdot 49737 = 14921 \text{ Pa}$$

Celková tlaková ztráta Δp_c je dána součtem tlakových ztrát třením a tlakových ztrát vřazenými odpory

$$\Delta p_c = \Delta p_\lambda + \Delta p_\xi = 49737 + 14921 = 64658 \text{ Pa}$$

Dále je třeba určit tlakovou ztrátu třicíestného ventilu Δp_v , u kterého je uvažována poměrná autorita $p_a = 0,5 [-]$, a to pomocí vztahu

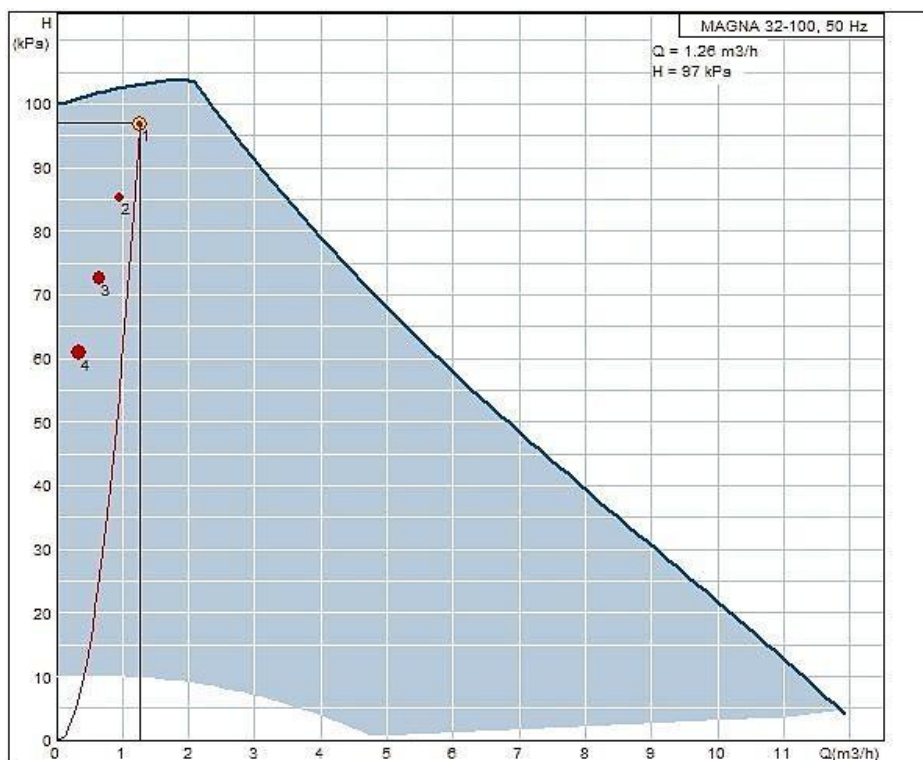
$$\Delta p_v = p_a \cdot \Delta p_c = 0,5 \cdot 64658 = 32329 \text{ Pa}$$

Výtlačná výška čerpadla Δp_p se poté stanoví jako součet celkové tlakové ztráty a tlakové ztráty ventilu

$$\Delta p_p = \Delta p_c + \Delta p_v = 64658 + 32329 = 96987 \text{ Pa} \doteq 0,97 \text{ bar}$$

Jednoduchým přepočtem z výtlačné výšky čerpadla Δp_p se stanoví dopravní výška H

$$H = \Delta p_p \cdot 10 = 0,97 \cdot 10 = 9,7 \text{ m}$$



Obrázek 21: Pracovní charakteristika čerpadla MAGNA 32-100

Tabulka 30: Souhrn navržených oběhových čerpadel

Okruh	Název čerpadla	Δp_p [kPa]	h [m]
1NP (východ)	MAGNA 32-100	97	9,7
1NP (západ)	MAGNA 25-60	44	4,4
2NP (západ)	MAGNA 32-100	45	10

Dále je možné přistoupit k dimenzování třicíestného směšovacího ventilu. Velmi důležitou veličinou pro dimenzování ventilu je průtokový součinitel k_v [m^3/h], který vyjadřuje

objemový průtok vody, který proteče regulačním ventilem za referenčních podmínek průtoku při daném zdvihu (tlakový rozdíl mezi definovanými tlakovými odběry před a za armaturou 1 bar, rozvinuté turbulentní proudění atd.). Pro stanovení průtokového součinitele je možné využít následující vztah

$$k_v = \frac{\dot{V}}{\Delta p_v} = \frac{1,261}{\sqrt{0,323}} = 2,22 \text{ m}^3/\text{h}$$

kde

\dot{V} – objemový průtok [m³/h]

Δp_v – tlaková ztráta ventilu [bar]

K průtokovému součiniteli je poté ještě připočten bezpečnostní přírůstek, čímž se získá jmenovitý průtokový součinitel k_{vs} , který udává objemový průtok zcela otevřenou armaturou

$$k_{vs} = (1,1 \div 1,3) \cdot k_v = (1,1 \div 1,3) \cdot 2,22 = 2,4 \div 2,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

Po zvážení byl vybrán třicestný směšovací ventil s pohonem TA CV 325 s parametry:

- DN 20
- $k_{vs} = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$

Po výběru k_{vs} hodnoty by měla být určena skutečná tlaková ztráta dle vztahu

$$\Delta p_v = \left(\frac{\dot{V}}{k_{vs}} \right)^2 = \left(\frac{1,261}{2,5} \right)^2 = 0,25 \text{ bar} = 25 \text{ kPa}$$

Vhodnost vybraného ventilu je nutné ověřit pomocí veličiny nazývané jako autorita ventilu a_v , která značí hodnotu poměru dispozičního tlaku na ventilu při plném průtoku média ku dispozičnímu tlaku při nulovém průtoku. Pro dobrou regulaci se doporučuje hodnota blízká se hodnotě $a = 0,5$. Minimální doporučovaná hodnota je $a = 0,3$. Čím více se hodnota blíží $a = 1$, tím více se průtočná charakteristika ventilu podobá ideální charakteristice ventilu.

Stanovení autority ventilu a tedy vypadá následovně

$$a = \frac{\Delta p_v}{\Delta p_v + \Delta p_c} = \frac{25,5}{25,5 + 64,6} = 0,28$$

Hodnota autority ventilu $a = 0,28$ je na hranici doporučované hodnoty.

Tabulka 31: Souhrn navržených třicestných směšovacích ventilů

Okruh	Typ ventilu	DN	Jmenovitý průtok $k_{vs} [m^3/h]$	Autorita ventilu $a [-]$	Zdvih [mm]
1NP (východ)	CV 325	20	2,5	0,28	20
1NP (západ)	CV 325	32	8	0,30	20
2NP (západ)	CV 325	32	8	0,26	20

8.1.3 Zabezpečovací zařízení otopné soustavy

Zabezpečovacími zařízeními otopných soustav se věnuje norma ČSN 06 0830, dle které nesmí být tepelná soustava v budově uvedena do provozu bez zabezpečovacího zařízení. Každá otopná soustava musí obsahovat ochranu proti překročení nejvyššího pracovního přetlaku či naopak podtlaku, dále pak ochranu proti překročení nejvyšší pracovní teploty a také ochranu proti nedostatku vody v soustavě.

Výpočet objemu expanzní nádoby

Nejprve je nutné stanovit objem vody v celé otopné soustavě V_O

$$V_O = V_{OT} + V_P + V_V + V_{VDT} + V_{KRS}$$

kde

V_{OT} – objem vody v otopných tělesech [l]

V_P – objem vody v potrubí [l]

V_V – objem vody ve výměníku tepla [l]

V_{VDT} – objem vody ve vyrovnávací dynamických tlaků [l]

V_{KRS} – objem vody v kompaktním rozdělovači a sběrači [l]

Po dosazení do předchozího vztahu vychází objem vody v otopné soustavě V_O následovně

$$V_O = 475 + 660 + 40 + 25 + 15 = 1215 \text{ l}$$

Výpočet objemu expanzní tlakové nádoby V_{et} vychází ze vztahu

$$V_{et} = 1,3 \cdot V_O \cdot n \cdot \frac{1}{\eta}$$

kde

n – součinitel zvětšení objemu [-]

η – stupeň využití EN [-]

Ke stanovení hodnoty součinitele zvětšení objemu n je nutné použít vztah

$$\Delta\theta = \theta_{max} - 10 = 75 - 10 = 65 \text{ K}$$

Z příslušné tabulky se poté na základě tohoto rozdílu teplot vybere hodnota $n = 0,0255$.

Stupeň využití expanzní nádrže η se učí na základě vztahu

$$\eta = \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,A}}{p_{h,dov,A}}$$

kde

$p_{h,dov,A}$ – nejvyšší dovolený absolutní tlak

$p_{d,A}$ – hydrostatický absolutní tlak [kPa]

Výpočet hodnoty hydrostatického absolutního tlaku $p_{d,A}$ je následující

$$p_{d,A} = \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3} + p_b = 979,2 \cdot 9,81 \cdot 5,5 \cdot 10^{-3} + 100 = 153 \text{ kPa}$$

kde

h - výška vodního sloupce nad expanzní nádrží [m]

p_b – barometrický tlak

Dosazením do vztahu pro výpočet stupně využití EN se dostane

$$\eta = \frac{600 - 153}{600} = 0,745$$

Skutečná velikost expanzní nádoby V_{et} tedy vychází následující

$$V_{et} = 1,3 \cdot 1215 \cdot 0,0255 \cdot \frac{1}{0,745} = 54,1 \text{ l}$$

Na základě této hodnoty byla vybrána pro danou aplikaci expanzní nádoba MB 80 SKIRT s objemem 80 litrů od společnosti Regulus určenou pro 6 bar otopné systémy.

Výpočet expanzní nádoby byl ověřen v programu Zabezpečovací zařízení v2.0, vytvořeném v Excelu. Tento program je dostupný na webu tutorial.cz v sekci Technické zařízení budov.

Výpočet pojistného ventilu

Návrh pojistného ventilu proběhl pomocí přehledné aplikace dostupné na webu TZB-info. Výpočet vychází z normy ČSN 06 0830 a pod ukázkou návrhu ventilu v aplikaci je tento výpočet ověřen ručně.

Zdroj tepla:	Skupina:	Teplotní interval [°C]	vstup do PV	výstup z PV
<input checked="" type="radio"/> výměník tepla	<input checked="" type="radio"/> A1	$T_1 < 100$	voda	voda
<input type="radio"/> kotel	<input type="radio"/> A2	$100 < T_1 < t_{2x}$	voda	směs
	<input type="radio"/> A3	$100 \leq t_{2x} \leq T_1$	pára	pára
	B		pára	pára

T_1 - výpočtová teplota ohřívací vody na vstupu

t_{2x} - teplota ohřívání vody na mezi odparu při přetlaku p_{ot}

Výpočtové parametry pojistných ventilů: DUCO MEIBES						
jmenovitá světlost DN [mm]	1/2"	3/4"	1"	5/4"	6/4"	2"
nejmenší průtočný průřez S_o [mm ²]	113	176	380	804	1017	1589
výtokový součinitel α_w [-]	0,44	0,56	0,68	0,69	0,54	0,57

Poznámka: Přednastavené hodnoty průtočného průřezu a výtokového součinitele můžete změnit a výpočet se provede znovu pro Vámi zadané hodnoty.

$p_{ot} =$ <input type="text" value="550"/> kPa	... otevírací přetlak pojistného ventilu
$Q_n =$ <input type="text" value="120"/> kW	... jmenovitý výkon zdroje tepla
$S_o =$ 23 mm ²	... vypočtený minimální průřez sedla pojistného ventilu
<input 3="" 4"="" type="text" value="1/2" x=""/> KD	... navržený pojistný ventil
$S_o =$ 113 mm ²	... skutečný průřez sedla navrženého pojistného ventilu
$d_1 =$ 17 mm	... minimální vnitřní průměr vstupního pojistného potrubí
$d_2 =$ 17 mm	... minimální vnitřní průměr výstupního pojistného potrubí

Obrázek 22: Výpočtová aplikace dostupná na tzb-info.cz

Při návrhu pojistného ventilu se nejdříve stanoví pojistný průtok pro vodu V_p

$$V_p = 10^{-3} \cdot Q_n = 10^{-3} \cdot 120 = 0,12 \text{ m}^3/\text{h}$$

kde

Q_n – jmenovitý výkon zdroje [kW]

Vnitřní průměr pojistného potrubí d se stanoví ze vztahu

$$d = 10 + 0,6 \cdot \sqrt{Q_n} = 10 + 0,6 \cdot \sqrt{120} = 16,57 \text{ mm}$$

Průřez sedla pojistného ventilu A_0 se stanoví ze vztahu

$$A_0 = \frac{2 \cdot Q_n}{\alpha_w \cdot p_{ot}^{0,5}} = \frac{2 \cdot 120}{0,444 \cdot 550^{0,5}} = 23 \text{ mm}^2$$

Ze získaných hodnot je zřetelné, že se použije pojistné potrubí DN 20, tedy měděná trubka Cu 22x1. Pro otopnou soustavu byl navržen pojistný ventil DUCO MEIBES 1/2" x 3/4" KD v ceně 242 Kč.

8.1.4 Návrh otopných těles

Při návrhu otopných těles bylo bráno v potaz několik skutečností, které zohledňují požadavky na tepelnou pohodu uživatelů a efektivní regulaci.

Povrchová teplota okna je nižší než vnitřní výpočtová teplota vzduchu a tím pádem je tato okenní plocha příčinou vzniku chladných padajících proudů. Vezmeme-li v úvahu hodnotu součinitele prostupu tepla skla udávanou výrobcem $U = 1,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ a vnější výpočtovou teplotu $\theta_e = -12 \text{ }^\circ\text{C}$, vychází při převažující vnitřní návrhové teplotě $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ vnitřní povrchová teplota okna přibližně $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Chladné padající proudy tak mohou dosahovat rychlosti proudění $0,3 \text{ m/s}$. Nejvýše přípustná hodnota rychlosti proudění v pásmu pobytu lidí je však pro sedící osoby $0,25 \text{ m/s}$. Navíc teplota $15 \text{ }^\circ\text{C}$ chladné okenní plochy bude z hlediska tepelného sálání značně nepříznivá, jedná se o tzv. chladné sálání. Právě pro omezení padajících chladných proudů je nutné umisťovat otopná tělesa vždy pod okna a délku otopného tělesa volit stejnou jako délku okna, minimálně však 80% délky okna. Takto umístěné a rozměrově správně zvolené těleso je schopno bránit chladným padajícím proudům dostat se až k podlaze a vytvořit tak poměrně velkou oblast lokální tepelné nepohody. Vzhledem k tomu, že délka většiny oken v řešené budově je 1490 mm , přichází v úvahu tělesa délky 1400 mm nebo 1600 mm . [35][36]

Další podmínkou je, aby součin výšky tělesa a rozdílu mezi střední teplotou otopného tělesa a vnitřního vzduchu se musí nejméně rovnat součinu výšky okna s rozdílem teploty vnitřního vzduchu a teploty povrchu okna

$$H_{OT} \cdot (\theta_{OT} - \theta_i) \geq H_{OK} \cdot (\theta_i - \theta_{OK})$$

Z předchozí rovnice je nutné určit hodnotu střední teploty otopného tělesa. Pro tento výpočet je ale nejdříve třeba vypočítat hodnotu povrchové teploty okna θ_{OK}

$$\theta_{OK} = \theta_i \cdot \left(1 - \frac{U_{OK}}{\alpha_{i,OK}}\right) + \theta_e \cdot \frac{U_{OK}}{\alpha_{i,OK}} = 20 \cdot \left(1 - \frac{1,2}{7,7}\right) + (-12) \cdot \frac{1,2}{7,7} = 15,01 \text{ } ^\circ\text{C}$$

kde

θ_i – vnitřní výpočtová teplota [$^\circ\text{C}$]

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

U_{OK} – součinitel prostupu tepla okna udávaný výrobcem [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]

$\alpha_{i,OK}$ – součinitel přestupu tepla na vnitřní straně okna [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]

Výpočet střední teploty otopného tělesa poté vypadá následovně

$$\theta_{OT} \geq \theta_i \cdot \left(1 + \frac{H_{OK}}{H_{OT}}\right) - \theta_{OK} \cdot \frac{H_{OK}}{H_{OT}} \Rightarrow \theta_{OT} = 20 \cdot \left(1 + \frac{1,5}{0,6}\right) - 15 \cdot \frac{1,5}{0,6} = 32,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

kde

H_{OK} – výška okna (otvoru ve zdi) [m]

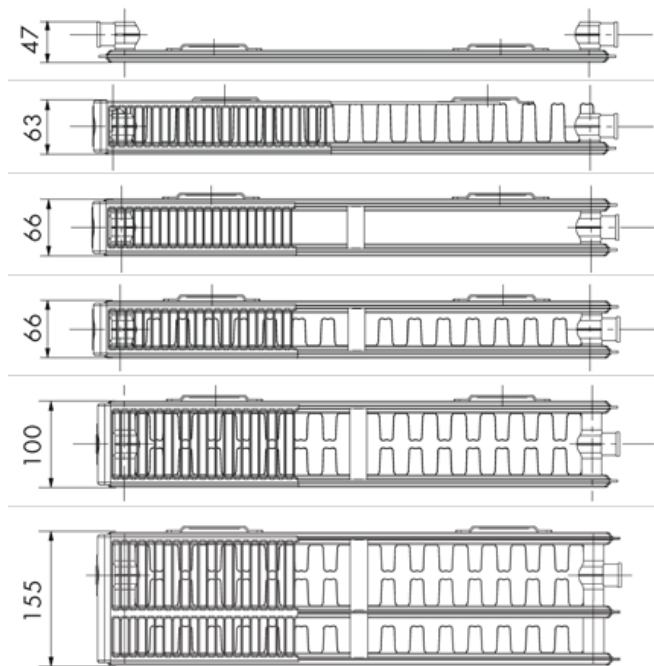
H_{OT} – výška otopného tělesa [m]

Dále byl brán v úvahu fakt, že se v budově vyskytují místnosti s vnitřní výpočtovou teplotou $\theta_i = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$, pro kterou vychází střední teplota otopného tělesa $\theta_{OT} = 38 \text{ } ^\circ\text{C}$. Dalším krokem je určení teploty vratné vody, která by měla být přibližně rovna právě střední teplotě otopného tělesa.

Z předchozích výpočtů ale jasně vyplývá, že již máme pevně danou výšku i šířku otopného tělesa. Jedinou možností jak dosáhnout požadovaného tepelného výkonu tělesa k pokrytí tepelné ztráty místnosti tak je volba jeho hloubky (typu tělesa). U deskových otopných těles se jedná o počet otopných desek a konvekčních plechů.



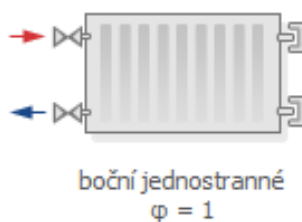
Obrázek 23: Otopné těleso Korado Radik Klasik



Obrázek 24: a) typ 10, b) 11, c) 20, d) 21, e) 22, f) 33

S ohledem na stanovenou střední teplotu otopného tělesa se nabízí např. teplotní spád 55/45 °C. V tomto případě bude ale nutné volit převážně tělesa typu 33, jejichž pořizovací cena je samozřejmě znatelně vyšší. Další nevýhodou takového typu tělesa je jeho velká hloubka.

Teplotní spád byl také volen s ohledem na efektivní regulaci, neboť platí, že čím větší je teplotní spád, tím více je lineární závislost mezi průtokem a tepelným výkonem tělesa. Po uvážení všech uvedených poznatků byl zvolen teplotní spád 75/60 °C.



Obrázek 25: Připojení otopného tělesa

8.2 Příprava teplé vody

Při ohřevu vody bude využíván zásobník teplé vody, bude se tedy jednat o ohřívání zásobníkové (akumulační). Tato teplá voda v zásobníku poté slouží k vyrovnání množství ohřáté a odebírané TV během určitého časového období.

Zásobník je navržen dle normy ČSN 06 0320 a dle této normy se potřeba teplé vody stanoví pro:

- mytí osob
- mytí nádobí
- úklid

Tabulka 32: Spotřeba energie pro ohřev teplé vody

	Měrná jednotka	Objem dávky	Počet dávek	Teplo v dávce	Teplo celkem
		$V_{2P}[m^3/j.]$	$n[j./den]$	$E_{2t}[kWh/den]$	$E_{2t,celk}[kWh/den]$
Sportovní část					
Umyvadla	1 os./sm	0,002	35	0,07	4,1
Sprchy	1 os./sm	0,025	78	1,5	113,2
Whirlpool	1 použití	0,53	1	29,0	29,0
Vana	1 použití	0,25	1	11,6	11,6
Úklid	100 m2	0,02	8,5	1,2	9,9
Administrativní část					
Umyvadla	1 os./sm	0,02	5	1,2	5,8
Úklid	100 m2	0,02	1,2	1,2	1,4
Restaurační část					
Vaření a mytí nádobí	1 jídlo	0,002	50	0,1	5,8
Umyvadla	1 os./sm	0,02	4	1,2	4,6
Úklid	100 m2	0,02	2,3	1,2	2,7
Bytová část					
Osoby	1 os./sm	-	3	4,8	14,3
				Teoretická denní spotřeba energie	202,4

Určení objemu dávky TV na mytí osob je vcelku problematické a závisí na individuálním chování každého uživatele. Pro určení dávek TV byly převzaty hodnoty uváděné normou ČSN 06 0320. Některé zdroje uvádějí, že hodnoty uváděné v této normě jsou poměrně nadsazené, což znamená, že lze u výsledných hodnot očekávat určitou bezpečnostní rezervu, která bude schopná pokrýt neočekávané požadavky na odběr teplé vody.

Periodu, v tomto případě 1 den, bylo nutné rozdělit do několika intervalů tak, aby hodnota odběru teplé vody, resp. odebíraného tepla, co nejpřesněji odpovídala skutečnosti. Jako nejvhodnější bylo nakonec zvoleno rozložení do sedmi intervalů.

Tabulka 33: Odběr TV v průběhu dne

Časový interval [h]		Odběr TV [%]	Potřeba energie [kWh]
od	do		
0	4	5,55	16,84
4	8	9,94	30,17
8	11	6,80	20,64
11	13	23,09	70,09
13	15	5,34	16,20
15	18	35,44	107,60
18	24	13,54	41,11

Stanovení potřeby tepla

Potřeba tepla odebraného z ohřívače TV za danou periodu E_{2P} (uvažována perioda 1 den):

$$E_{2P} = E_{2t} + E_{2z} = E_{2t} + z \cdot E_{2t}$$

kde

E_{2P} – teplo dodané ohřívačem do TV [kWh]

E_{2t} – teoretické teplo odebrané z ohřívače TV [kWh]

E_{2z} – teplo ztracené při ohřevu a distribuci TV [kWh]

z – poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci [-]

Při ohřevu TV dochází k tepelným ztrátám. Pro standardně navržené tloušťky tepelné izolace rozvodů TV lze pro výpočet uvažovat poměrnou ztrátu tepla $z = 0,3$. Tato ztráta má dvě složky, a to ztráty v zásobníku teplé vody a také ztráty v potrubních rozvodech. Následující výpočty se snaží tuto hodnotu ověřit.

Budeme-li uvažovat zásobník teplé vody o objemu 2500 litrů, jehož výška je 2680 mm a jeho průměr je 1200 mm, je jeho teplosměnná plocha přibližně následující:

$$S = \pi \cdot d \cdot h + \frac{2 \cdot \pi \cdot d^2}{4} = \pi \cdot 1,2 \cdot 2,68 + \frac{2 \cdot \pi \cdot 1,2^2}{4} = 12,37 \text{ m}^2$$

Ztrátový výkon zásobníku se poté určí jako:

$$P_{ztr,z} = U \cdot \Delta\theta \cdot S = 0,3 \cdot (60 - 15) \cdot 8,75 \doteq 167 \text{ W}$$

kde

U – součinitel prostupu tepla zásobníku, $U_{max} = 0,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

$\Delta\theta$ – rozdíl mezi teplotou vody v zásobníku a teplotou vzduchu v místnosti

Ztrátová energie zásobníku za jeden den je tedy:

$$E_{ztr,z} = \frac{P_{ztr,z} \cdot 24}{1000} = \frac{167 \cdot 24}{1000} = 4,0 \text{ kWh}$$

Pro výpočet ztrátové energie v potrubních rozvodech bylo uvažováno potrubí o vnějším rozměru $\varnothing d = 32 \text{ mm}$ s izolací o vnějším rozměru $\varnothing d = 72 \text{ mm}$. Stanovení součinitele prostupu tepla tímto izolovaným potrubím proběhlo pomocí následujícího vztahu:

$$U_l = \frac{2 \cdot \pi}{\frac{1}{r_1 \cdot h_i} + \frac{1}{\lambda_i} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{r_2 \cdot h_e}}$$

$$U_l = \frac{2 \cdot \pi}{\frac{1}{0,016 \cdot 100} + \frac{1}{0,035} \cdot \ln \frac{72}{32} + \frac{1}{0,036 \cdot 10}} = 0,24 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

Dále byla uvažována největší možná délka potrubí v budově $l = 105 \text{ m}$. Ztrátový výkon v potrubí je poté určen ze vztahu:

$$P_{ztr,p} = 2 \cdot l \cdot U_l \cdot \Delta\theta = 2 \cdot 105 \cdot 0,24 \cdot (57,5 - 20) \doteq 1862 \text{ W}$$

Ztrátová energie v potrubí za jeden den je tedy:

$$E_{ztr,p} = \frac{P_{ztr,p} \cdot 24}{1000} = 44,7 \text{ kWh}$$

Celkové ztráty byly tedy přibližně stanoveny součtem ztrát v zásobníku a v potrubních rozvodech:

$$E_{ztr} = E_{ztr,z} + E_{ztr,p} = 4,0 + 44,7 = 48,7 \text{ kWh}$$

Takto stanovená ztrátová energie tvoří přibližně 24 % energie potřebné k přípravě TV. S ohledem na bezpečnost výpočtu byla stanovena hodnota $z = 0,25$.

Ztrátová tepelná energie při ohřevu TV je tedy uvažována jako:

$$E_{zz} = z \cdot E_{zt} = 0,25 \cdot 202,4 = 50,6 \text{ kWh}$$

Hodnota energie potřebné k přípravě TV je tedy:

$$E_{2p} = 202,4 + 50,6 = 253 \text{ kWh}$$

Teplu dodané ohříváčem do TV během periody:

$$E_{1P} = E_{2P} = 253 \text{ kWh}$$

Z hlediska přístupu k sestavení křivek dodávky a odběru tepla je nutné rozlišit dva rozdílné případy. První případ nastává v okamžiku, kdy se předpokládá, že dodávka tepla do zásobníku TV je během jedné časové periody trvalá. Druhý případ nastává, uvažuje-li se využití tepla v zásobníku z předchozí časové periody ohřevu TV a dodávka tepla je časově kratší než délka periody odběru TV. [37]

Konstantní dodávka tepla v průběhu dne

Při tomto řešení je ohřev řešen konstantním výkonem o relativně nízké hodnotě po celých 24 hodin. Čára odběru tepla nikdy nesmí převýšit čáru konstantní dodávky tepla. Předpokládá se, že bilance dodaného a odebraného tepla na konci dne je nulová.

Průměrný výkon zdroje se stanoví:

$$\bar{P} = \frac{\sum P_i \cdot t_i}{24} = 10,54 \text{ kW}$$

Dále se určí spotřeba energie v intervalech, ve kterých hodnota odběru energie převyšuje hodnotu dodávané energie

$$E = (P_4 - \bar{P}) \cdot t_4 + (P_6 - \bar{P}) \cdot t_6$$

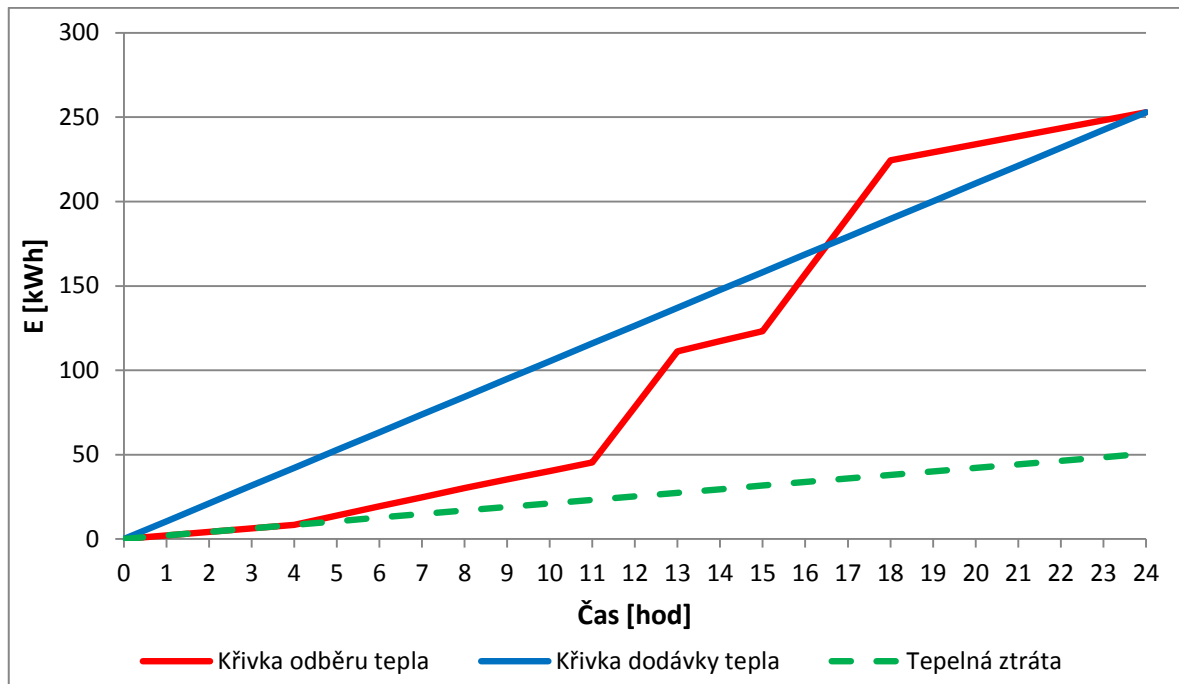
$$E = (32,94 - 10,54) \cdot 2 + (33,77 - 10,54) \cdot 3 = 114,5 \text{ kWh}$$

Z této hodnoty se poté určí objem zásobníku, který by měl být schopný pojmout dostatečné množství naakumulované vody pro intervaly odběru, kdy bude odběr vyšší než výkon zdroje

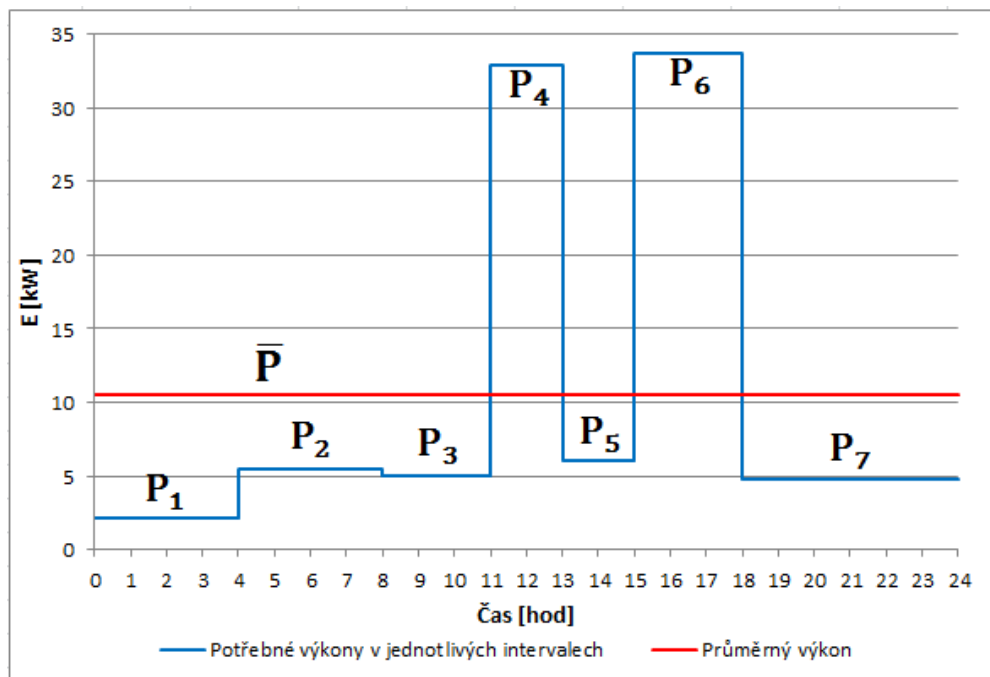
$$V_z = \frac{\Delta E_t}{c_p \cdot (\theta_2 - \theta_1)} = \frac{114500}{1,163 \cdot (60 - 10)} \doteq 1969 \text{ l}$$

kde

c_p – měrná tepelná kapacita vody [Wh/kg.K]



Graf 1: Křivky odběru a dodávky tepla s nepřerušovanou dodávkou tepla do zásobníku TV
 Při pohledu na předchozí graf je však okamžitě jasné, že řešení s nepřerušovanou dodávkou tepla do zásobníku TV o relativně nízkém výkonu, není pro danou aplikaci vhodné. Křivka odběru se totiž v odpoledních hodinách dostává nad křivku dodávky, což není možné a v praxi by to znamenalo nedostatečné množství teplé vody.



Graf 2: Stanovení průměrného výkonu zdroje

Přerušovaná dodávka tepla s větším výkonem

Jelikož předchozí způsob řešení ohřevu teplé vody nevyhovuje, je nutné využít možnosti ohřívání teplé vody přerušovanou dodávkou tepla s větším výkonem zdroje. Křivka odběru tepla se volí stejná. V případě přerušovaného ohřevu se předpokládá využití tepla v zásobníku z předchozího dne. Pro danou aplikaci je zvolen tepelný obsah $E_t = 50kWh$. Velikost zásobníku se určí z maximálního rozdílu mezi křivkami dodávky a odběru tepla:

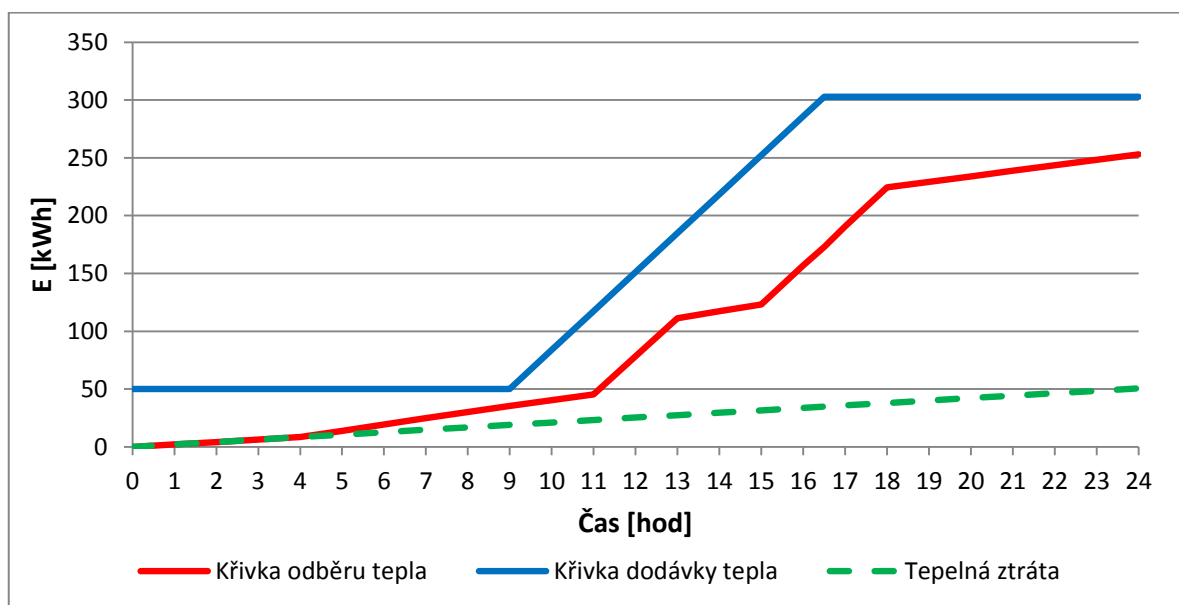
$$V_z = \frac{\Delta E_t}{c_p \cdot (\theta_2 - \theta_1)} = \frac{129011}{1,163 \cdot (60 - 10)} \doteq 2219 \text{ l}$$

Křivka dodávky tepla je záměrně volena s určitým odstupem od křivky odběru a je tak vytvořena rezerva pro případ, že regenerace hráčů, která je pro ohřev teplé vody energeticky nejnáročnější, bude probíhat v dopoledních hodinách.

Jmenovitý tepelný výkon ohřevu TV:

$$\phi_{1n} = \left(\frac{E_{1P}}{\tau} \right)_{max} = \frac{253}{7,5} = 33,7 \text{ kW}$$

Z grafu níže lze vyčíst, že na počátku dne se předpokládá, že zásobník je nabit teplem, tedy že ve vodě je uložen tepelný obsah $E_t = 50kWh$. Poté je zásobník vybíjen až do osmi hodin, kdy začíná nabíjení výkonem $\phi_{1n} = 33,7 \text{ kW}$. Energie je do zásobníku poté dodávána po dobu sedmi a půl hodiny. Dodaná energie je rovna energii odebrané, a tudíž je na počátku dalšího dne v zásobníku opět uložen tepelný obsah $E_t = 50kWh$.



Obrázek 26: Křivky dodávky a odběru energie v zásobníku TV během jednoho dne

Pro řešenou výměňkovou stanici je vhodný např. zásobníkový ohřívač o objemu 2500 l s označením R0BC 2500. Jedná se o zásobník teplé vody bez topného hada. Cena zásobníku je 134 400 Kč vč. DPH. Vzhledem ke skutečnosti, že při ohřevu teplé vody se počítá také s využitím solárních kolektorů, existovala možnost využít zásobníkový ohřívač s topným hadem právě pro připojení solárního systému. Tato možnost nakonec ale nebyla využita a bude využit externí výměník tepla.



Obrázek 27: Zásobník R0BC 2500 l

8.3 Solární systém

Základním požadavkem pro správné fungování solární soustavy je správná orientace kolektorového pole vzhledem ke světovým stranám. Ideální je orientace jižní s možným odklonem $\pm 30^\circ$. Důležitý je sklon kolektorů slunečního záření, a to v závislosti na období, ve kterém se soustava bude provozovat. U navrhovaného solárního systému se předpokládá celoroční provoz, pro který se udává optimální sklon $40^\circ - 45^\circ$.

Při návrhu solárního systému se předpokládá, že roční příkon sluneční energie v dané lokalitě je $1050 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$, což je v průměru $2,88 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{den}$.

Plocha slunečních kolektorů se stanoví na základě objemu zásobníku, který se pro ohřev teplé vody uvažuje. Jak je již uvedeno výše, předpokládá se využití zásobníku o objemu 2500 litrů.

Určení denního množství sluneční energie v dané lokalitě:

$$\bar{P}_{den} = \frac{\bar{P}_{rok}}{365} = \frac{1050}{365} = 2,88 \text{ kWh/m}^2$$

Dále se určí množství energie potřebné k ohřátí vstupní vody o teplotě 10 °C na požadovanou teplotu 60 °C:

$$E = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta\theta = 2,5 \cdot 1000 \cdot 4180 \cdot (60 - 10) = 522500000 \text{ J} = 522,5 \text{ MJ}$$

Přepočítání jednotky MJ na kWh vypadá následovně:

$$E = \frac{522,5}{3,6} = 145,14 \text{ kWh}$$

Plocha slunečních kolektorů se nakonec určí jako podíl energie potřebné k ohřátí vody v zásobníku a předpokládaného množství sluneční energie:

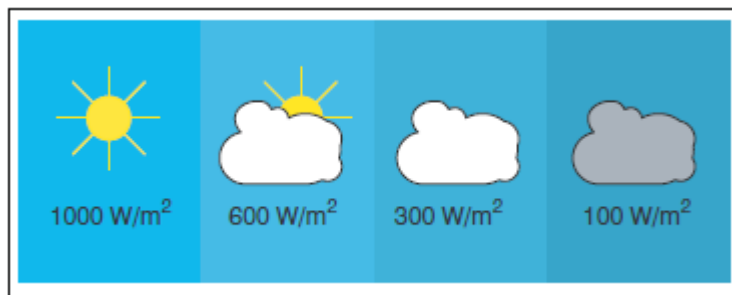
$$S = \frac{E}{\bar{P}_{den}} = \frac{145,14}{2,88} = 50,4 \text{ m}^2$$

Pro řešení solárního systému bylo navrženo využití vakuových slunečních kolektorů KTU9R s 9 U trubicemi. Plocha apertury jednoho kolektoru je 2,15 m². Vydělením celkové požadované plochy slunečních kolektorů plochou apertury vychází 23,5 kusů kolektorů na danou realizaci. Vzhledem k velikosti systému budou využita dvě kolektorová pole. Obě tyto kolektorové pole budou složeny z 12 trubicových kolektorů zapojených způsobem 4x3 paralelně. Pořizovací cena těchto kolektorů je 690 912 Kč.



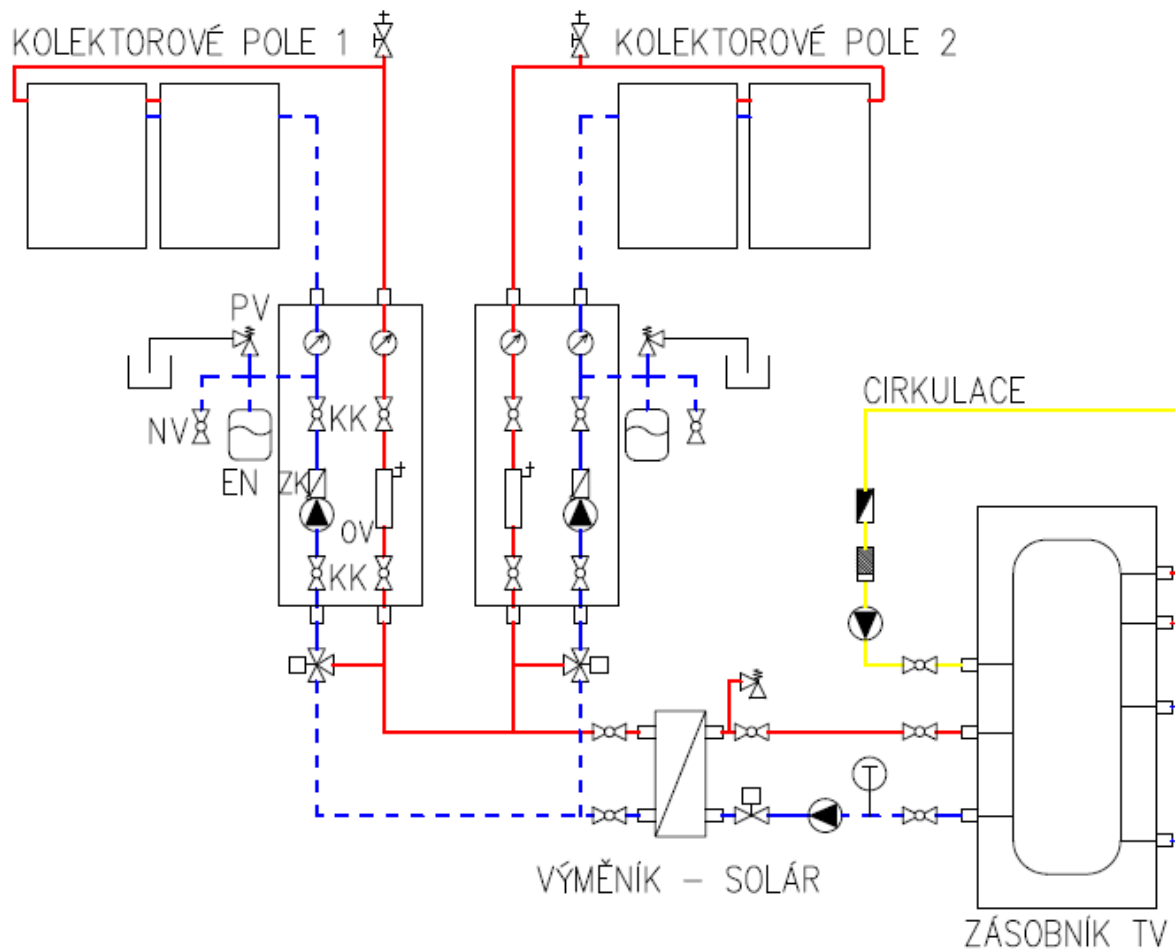
Obrázek 28: Sluneční kolektor KTU9R vakuový s 9 U trubicemi

Vakuový kolektor s trubicemi byl vybrán proto, že díky tomu, že je absorpční vrstva kolektoru chráněna vakuem, mají tyto kolektory menší tepelnou ztrátu a nesnižuje se tedy jejich účinnost při nízkých venkovních teplotách a snížené intenzitě slunečního záření tak, jak je tomu u plochých kolektorů. Kolektor nemění na teplo pouze přímé záření, ale díky jeho konstrukci s výhodou využívá i rozptýlené záření. Na kolektor tak i ve dnech se zataženou oblohou s velkým podílem rozptýleného světla dopadá ještě až 300 W/m^2 .



Obrázek 29: Výkon dopadajícího slunečního záření

8.3.1 Hydraulické zapojení solárního systému



Obrázek 30: Hydraulické zapojení solárního systému pro ohřev TV

Výrobce doporučuje průtok kolektorovým polem 36 l/min (2,16 m³/h). Při zvolené rychlosti $w = 0,75 \text{ m/s}$ vychází průměr přípojovacího potrubí $d = 0,032 \text{ m}$, takže se pro přípojovací a vratné potrubí kolektorového pole využije měděných trubek Cu35x1,5 spojovaných tvrdým pájením.

Budou-li čerpadla pro obě kolektorová pole umístěna ve výšce 1,5m nad podlahou, musí být schopné vytlačit solární kapalinu do výšky 10 m. K této hodnotě ale musí být připočteny tlakové ztráty třením a tlakové ztráty místními odpory. Při daném průtoku se uvažuje tlaková ztráta kolektoru přibližně 600 Pa a tlaková ztráta kolektorů v jednom poli je tedy přibližně 7,2 kPa. Celková výtlačná výška čerpadla Δp_p pro jedno kolektorové pole byla stanovena na hodnotu $\Delta p_p = 19,5 \text{ kPa}$, což odpovídá dopravní výšce $H = 1,95 \text{ m}$.

Na základě výše uvedených hodnot bylo vybráno čerpadlo Grundfos CR3-5.

Čerpadlová skupina je dále opatřena tlakoměrem s pojistným ventilem 6 bar (PV), výstupem pro připojení expanzní nádoby (EN) teploměry topné i vratné větve (T), napouštěcím a vypouštěcím ventilem (NV), separátorem vzduchu (OV).

Zpětná klapka (ZK) zabraňuje zpětnému proudění v solárním okruhu, což znamená, že se v noci neochlazuje zásobník TV. Na kolektorech je umístěn odvzdušňovací ventil určený pro odvzdušnění při montáži a nahřátí.

Třicestný ventil byl navrhován dle stejného postupu jako třicestné ventily u otopné soustavy a na základě těchto výpočtů byl vybrán třicestný směšovací ventil TC CV 325 s následujícími parametry:

- $DN\ 32$
- $k_{vs} = 10\ m^3/h$

Potrubí solární soustavy se opatří tepelnou izolací AEROFLEX SSH určenou právě pro solární systémy, díky které nebude docházet k podstatnému snížení celkové účinnosti solární soustavy. U venkovních rozvodů se doporučuje tloušťka izolace minimálně 19 mm, u vnitřních rozvodů pak 13 mm.

8.3.2 Návrh externího výměníku tepla

Celková plocha solárních kolektorů je $51,6\ m^2$ a maximální výkon slunečního záření je přibližně $1000\ W/m^2$. Z těchto hodnot vyplývá, že výměník by měl být schopen předávat maximální výkon $51,6\ kW$. Výrobce však na základě křivky účinnosti udává, že výkon kolektoru v nulovém bodě při slunečním svitu $G = 1000\ W/m^2$ je $1522\ W$. Maximální předávaný výkon slunečních kolektorů je tedy $36,5\ kW$. Na základě těchto parametrů byl pro zvolen deskový výměník tepla s izolací DV285-60 v ceně $14640\ Kč$.

Výměník je izolován izolací Aeroflex a jeho rozměry jsou $310 \times 130 \times 190\ mm$.



Obrázek 31: Deskový výměník DVB285-60 izolovaný

8.3.3 Návrh zabezpečovacích zařízení solárního systému

Přetlak v solární soustavě p_o se stanoví podle vztahu

$$p_o = 0,5 + h \cdot 0,1 = 0,5 + 10 \cdot 0,1 = 1,5 \text{ bar} = 150 \text{ kPa}$$

kde

h - výška od manometru do středu kolektorového pole

Výpočet přednastaveného tlaku expanzní nádoby vypadá následovně

$$p_{exp} = p_o - 0,5 = 1,5 - 0,5 = 1,0 \text{ bar}$$

Minimální objem expanzní nádoby $V_{EN,min}$ se stanoví jako

$$V_{EN,min} = V_s + V \cdot \beta + V_k$$

kde

β – součinitel objemové roztažnosti teplotosné látky

V_s – objem teplotosné látky v nádobě ve studeném stavu (10 % objemu soustavy V)

V_k – objem solárních kolektorů

Skutečná velikost expanzní nádoby se získá podělením minimálního objemu tzv. stupněm využití expanzní nádoby

$$\eta = \frac{p_e - p_o}{p_e + p_b}$$

kde

p_e – maximální provozní tlak soustavy [kPa]

p_o – minimální provozní tlak soustavy (plnicí tlak) [kPa]

p_b – atmosférický tlak [kPa]

$p_e + p_b$ – maximální absolutní provozní tlak soustavy

Objem expanzní nádoby V_{EN} potom bude

$$V_{EN} = (V_s + V \cdot \beta + V_k) \cdot \frac{p_e + 100}{p_e - p_o}$$

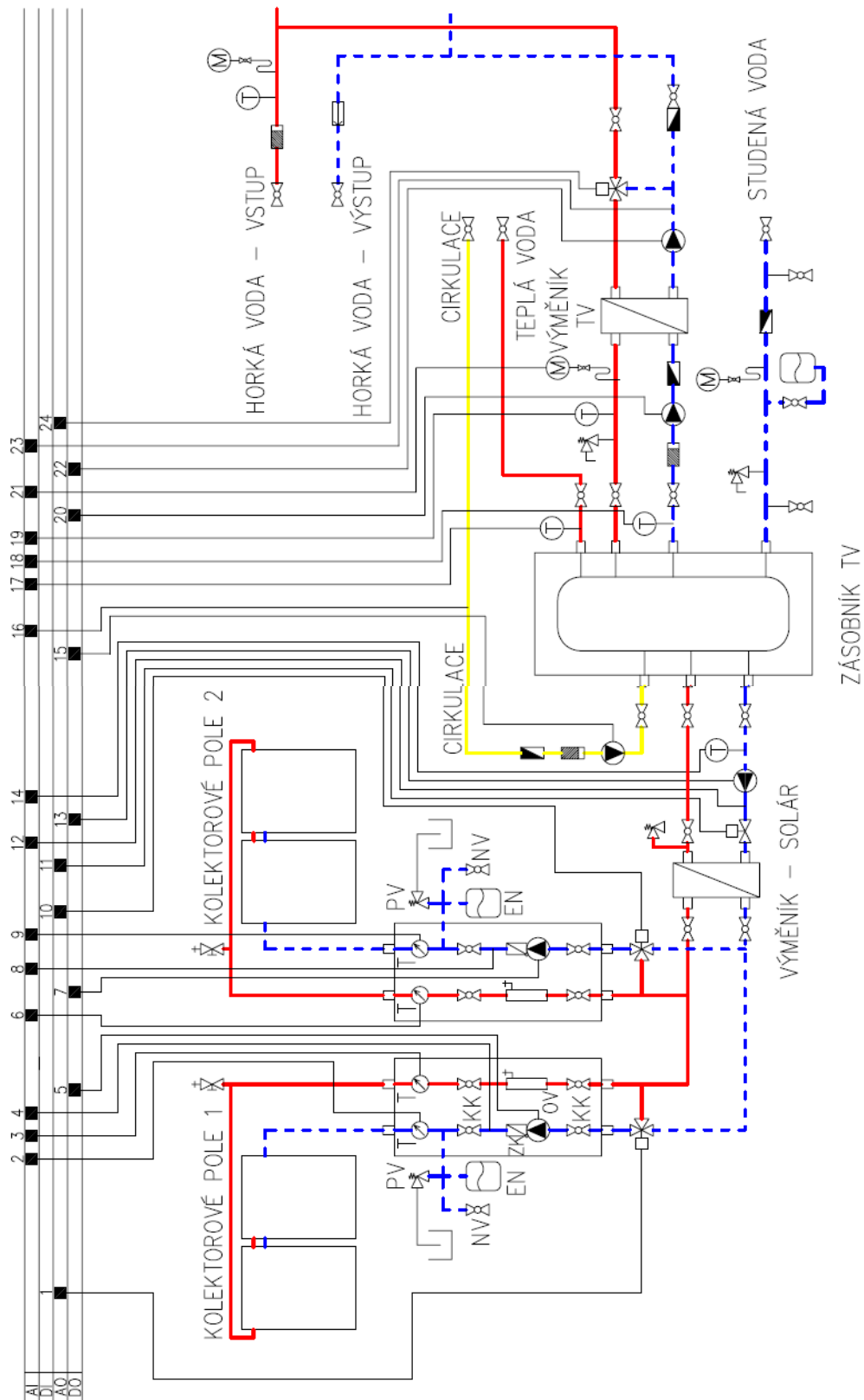
Po dosazení vypadá vztah následovně

$$V_{EN} = (5,5 + 55 \cdot 0,085 + 33) \cdot \frac{600 + 100}{600 - 150} = 67,2 \text{ l}$$

Na základě této hodnoty byla vybrána expanzní nádoba R8 080 LEGS s objemem 80 litrů a maximální pracovním tlakem 6 bar. Cena této expanzní nádoby je 4404 Kč. Ze schématu zapojení solárního systému vyplývá, že v systému budou expanzní nádoby dvě, tedy pro každé kolektorové pole samostatná expanzní nádoba.

9 NÁVRH ŘÍDICÍHO A MONITOROVACÍHO SYSTÉMU BUDOVY

9.1 Řídicí a monitorovací systém ohřevu teplé vody



Obrázek 32: Schéma řízení a monitorování systému pro ohřev teplé vody

Jak již bylo uvedeno, ohřev teplé vody bude zajišťován jednak transformací tepla z horké vody v teplou vodu a jednak solárním systémem. Solární systém bude primárním zdrojem tepla pro ohřev teplé vody a horká voda z horkovodní přípojky bude využita pouze v případech, kdy výkon solárního systému nebude dostatečný.

Solární systém je připojen ke spodní části zásobníku teplé vody, kde je voda chladnější. Vzhledem k nízké teplotě vody v této části zásobníku je s výhodou využíván právě solární systém, který je i v méně příznivých dnech schopen ohřát solární kapalinu primárního solárního okruhu nad teplotu vody ve spodní části zásobníku a pomocí externího výměníku tepla toto teplo vodě předat. Voda je tak ohřívána na teplotu alespoň o několik stupňů vyšší, čímž je ušetřena cenná energie. Horkovodní okruh poté slouží k dohřátí této přehřáté vody v horní části zásobníku na požadovanou teplotu.

Na výstupu solárních kolektorů je teplotní čidlem (3 a 6) měřena teploty solární kapaliny a tato teplota je porovnávána s teplotou naměřenou ve spodní části zásobníku teplé vody (14). Ve spodní části zásobníku je umístěno přípojné místo určené speciálně pro teplotní čidlo s teploměrem. Je-li teplota na výstupu z kolektorů vyšší o nastavený teplotní rozdíl (8 K), regulátor uzavře třicestný směšovací ventil (1 a 10) a solární kapalina tak přenáší energii získanou ze slunečního záření přes externí výměník do zásobníku TV. Zároveň je vyhodnocena hodnota na tlakovém snímači (12), na základě které je zjištěno, že čerpadlo (13) není v provozu a tento stav je změněn. Jestliže rozdíl teplot solární kapaliny a vody v zásobníku TV klesne pod 4 K, je třicestný směšovací ventil (1 a 10) otevřen a solární kapalina cirkuluje pouze ve „zkráceném“ okruhu, takže se kapalina neochlazuje ve výměníku tepla. Při poklesu teplotního rozdílu pod 4 K je dále zastaven chod čerpadla (13) a uzavřen ventil (11), jelikož není nutné, aby v tomto stavu systému voda ze zásobníku proudila do výměníku. Při opětovném ohřátí solární kapaliny se směšovací ventil (1 a 10) opět uzavře, spustí se čerpadlo (13) a otevře ventil (11).

Jestliže jsou venkovní podmínky nevhodné pro ohřev solární kapaliny a dosažení požadovaného minimálního teplotního rozdílu (např. velmi zatažená obloha nebo noc), je toto vyhodnoceno a chod oběhových čerpadel (5 a 7) obou kolektorových polí je pozastaven. K vyhodnocení venkovních podmínek dochází pomocí soumrakového světelného spínače s interním čidlem. Jestli jsou oběhová čerpadla v pohybu či nikoliv, je vyhodnocováno tlakovými čidly (4 a 8). Využitím soumrakového světelného spínače je zaručeno, že nebude zbytečně odebírána elektrická energie potřebná pro provoz oběhových čerpadel v době, kdy pro provoz solárního systému nejsou vhodné podmínky. U tohoto

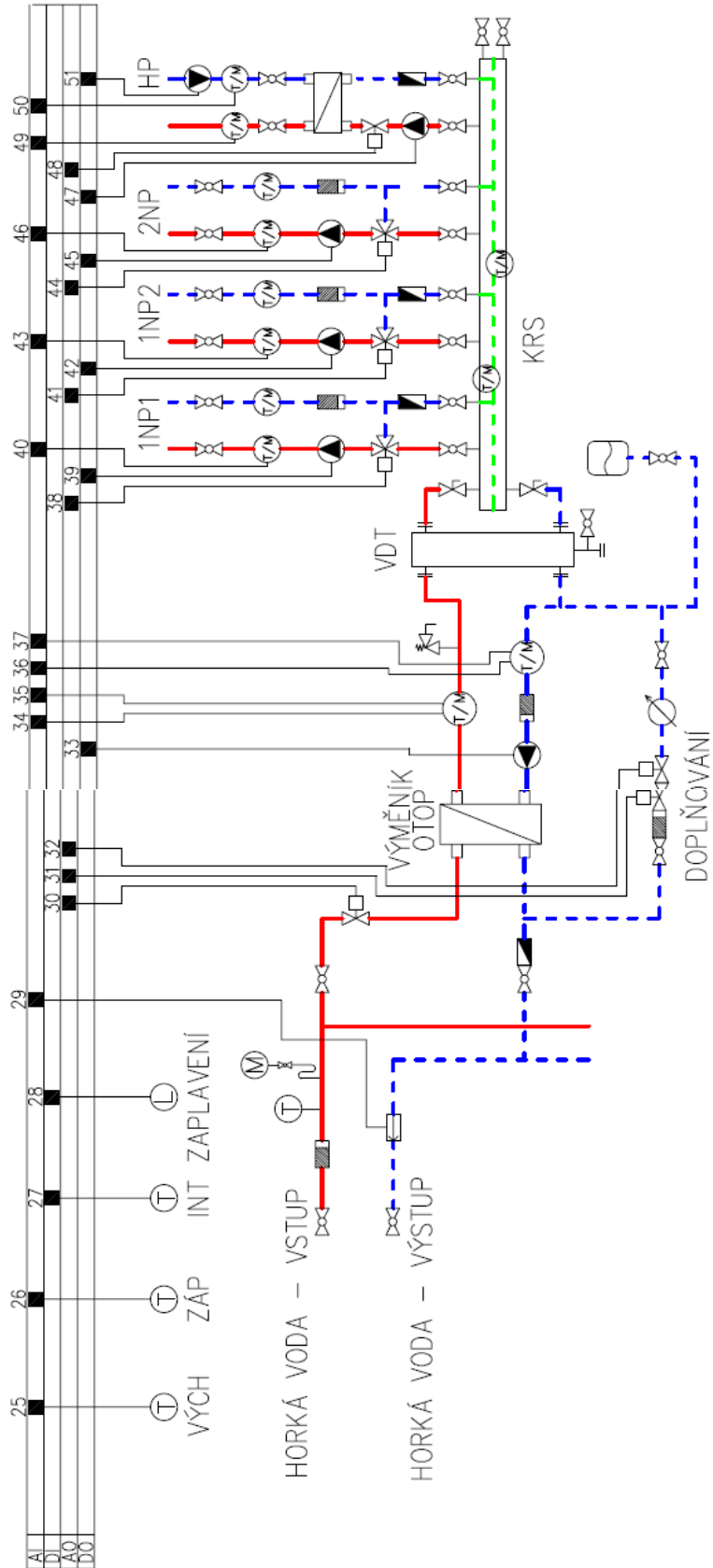
spínače je nutné nastavit vhodnou hodnotu časového zpoždění, a to kvůli eliminaci krátkodobých výkyvů intenzity osvětlení.

Jestliže není hodnota sluneční energie dostatečná k ohřátí vody v zásobníku na požadovanou teplotu 60 °C, jsou aktivována oběhová čerpadla primárního (22) i sekundárního (20) okruhu u výměníku horká voda – teplá voda. Tím, že začne proudit výměníkem horká voda v primárním okruhu a teplá voda v sekundárním okruhu, je dosaženo dohřátí horní části zásobníku na požadovanou teplotu. Tyto oběhová čerpadla (20 a 22) jsou řízena na základě teplot vyhodnocovaných teplotními čidly umístěnými ve střední části zásobníku (18), v horní části zásobníku u výstupu teplé vody (17) a na větvi, kterou se vrací ohřátá voda z výměníku do zásobníku (19). Spojitá regulace teploty teplé vody je řešena trojcestným ventilem s havarijní funkcí (24) na straně primární horké vody před vstupem do výměníku.

Tabulka 34: Vysvětlivky – ohřev TV

Č.	Typ	Prvek	Umístění	I/O
1	řízení	třícestný směš. ventil	kolektorové pole 1	AO
2	monitorování	teplotní snímač	vstup pole 1	AI
3	monitorování	teplotní snímač	výstup pole 1	AI
4	monitorování	tlakový snímač 1	kolektorové pole 1	AI
5	řízení	čerpadlo 1	kolektorové pole 1	DO
6	monitorování	teplotní snímač	výstup pole 2	AI
7	řízení	čerpadlo 2	kolektorové pole 2	DO
8	monitorování	tlakový snímač 2	kolektorové pole 2	AI
9	monitorování	teplotní snímač	vstup pole 2	AI
10	řízení	třícestný směš. ventil	kolektorové pole 2	AO
11	řízení	dvoucestný reg. ventil	sekundár - solár	AO
12	monitorování	tlakový snímač 3	sekundár – solár	AI
13	řízení	čerpadlo 3	sekundár – solár	DO
14	monitorování	teplotní snímač	zásobník – spodní	AI
15	řízení	čerpadlo 4	cirkulační obvod	DO
16	monitorování	teplotní snímač	cirkulační obvod	AI
17	monitorování	teplotní snímač	zásobník – horní	AI, DI
18	monitorování	teplotní snímač	zásobník – střední	AI
19	monitorování	teplotní snímač	výstup výměníku	AI
20	řízení	čerpadlo 5	vstup výměníku	DO
21	monitorování	tlakový snímač 5	výstup výměníku	AI
22	řízení	čerpadlo 6	primární obvod	DO
23	monitorování	tlakový snímač 6	primární obvod	AI
24	řízení	třícestný směš. ventil	primární obvod	AO

9.2 Řídicí a monitorovací systém vytápěcího systému



Obrázek 33: Schéma řízení a monitorování systému vytápění budovy

Otopná soustava je rozdělena do tří samostatných hydraulických okruhů, které jsou regulovány samostatně. V otopné soustavě bude aplikována ekvitermní regulace. Dva západní okruhy budou řízeny na základě venkovního snímače teploty umístěného na západní straně budovy. Východní okruh v prvním nadzemním podlaží bude ekvitermně regulován dle venkovního teplotního snímače na východní straně budovy. Principem ekvitermní regulace je snížení teploty topné vody, jestliže se zvýší venkovní teplota. Naopak, pokud venkovní teplota klesne, zvyšuje se automaticky teplota vody v otopné soustavě. Další možností regulace je regulování průtoku přímo v jednotlivých otopných tělesech, a to pomocí regulačních ventilů. Na základě této regulace přímo u otopných těles jsou pak řízeny otáčky oběhového čerpadla tak, aby nedocházelo ke zvyšování tlaku v soustavě.

Základním principem je tedy měření teploty vnějšího prostředí teplotním čidlem (25,26). Při snížení venkovní teploty dochází k otevírání regulačního ventilu (30) na přívodu horké vody do výměníku tepla. Aby docházelo k požadovanému ohřívání topné vody, musí být spuštěno čerpadlo (33), jež je umístěno na vratné větvi sekundárního okruhu. Voda z výměníku poté proudí přívodním potrubím do vyrovnávače dynamických tlaků a poté dále do kompaktního rozdělovače se sběračem. Z rozdělovače je voda čerpána do jednotlivých topných větví a po průchodu topnou soustavou se vrací zpět do sběrače. Za rozdělovačem obsahuje každá větev třícestný směšovací ventil (38, 41, 44). Těmito třícestnými směšovacími ventily je na základě ekvitermní regulace řízena teplota přívodní vody. Toho je dosaženo pomocí směšování přívodní a vratné vody. Teplota přívodní vody je monitorována pomocí teplotních čidel (40, 43, 46) umístěných za oběhovými čerpadly (39, 42, 45). Na základě této teploty je pak upravován správný směšovací poměr na třícestných ventilech. Jestliže je i přes směšování teplota přívodní vody stále vysoká, dojde opět k přivření regulačního ventilu (30) v primárním okruhu horké vody.

Součástí výměníkové stanice je i okruh pro vyhřívání travnatého hřiště. Pokud bude tento okruh v provozu, bude regulace topné vody prováděna automaticky na konstantní teplotu 75 °C a po celou dobu chodu tohoto okruhu nebude prováděna ekvitermní regulace. Funkce vyhřívání je uvedena do provozu zapnutím chodu oběhového čerpadla (47) v sekundárním rozvodu před vstupem do výměníku tepla. Nemrznoucí směs v terciárním okruhu vyhřívání travnatého hřiště pracuje s teplotním spádem 25/5 °C a oběh této kapaliny je zajišťován čerpadlem (51). Teplota přívodní i vratné větve je monitorována teplotními čidly (49, 50). Regulace nemrznoucí směsi v terciárním okruhu je prováděna

škrcením průtoku regulačním ventilem (48) před vstupem sekundárního rozvodu do výměníku.

Doplňování topné vody do systému je řešeno automaticky, a to ze zpětného potrubí primární horké vody. Doplnění bude zahájeno přes regulační ventily (31, 32) při dosažení minimálního doplňovacího tlaku vyhodnoceném tlakovým čidlem (37) v sekundárním topném systému. Při dosažení maximálního doplňovacího tlaku v sekundárním topném systému budou regulační ventily (31, 32) opět uzavřeny.

Měření spotřeby tepla je řešeno umístěním průtokoměru (29) na vratné potrubí primárního rozvodu. Tento průtokoměr je společný pro ohřev TV i pro vytápěcí systém.

Tabulka 35: Vysvětlivky – otopná soustava

Č.	Typ	Prvek	Umístění	I/O
25	monitorování	teplotní snímač – východ	venkovní teplota	AI
26	monitorování	teplotní snímač – západ	teplota prostoru	AI
27	monitorování	teplotní snímač - interiér	prostor VS	DI
28	monitorování	snímač zaplavení	prostor VS	DI
29	monitorování	průtokoměr	primár - vrat	AI
30	řízení	dvoucestný reg. ventil	primární obvod	AO
31	řízení	dvoucestný reg. ventil	doplňování	AO
32	řízení	dvoucestný reg. ventil	doplňování	AO
33	řízení	čerpadlo 7	sekundár – vrat	DO
34	monitorování	teplotní snímač	sekundár – přívod	AI
35	monitorování	tlakový snímač	sekundár – přívod	AI
36	monitorování	teplotní snímač	sekundár – vrat	AI
37	monitorování	tlakový snímač	sekundár - vrat	AI
38	řízení	třicestný směš. ventil	1NP1	AO
39	řízení	čerpadlo 8	1NP1	DO
40	monitorování	teplotní snímač	1NP1	AI
41	řízení	třicestný směš. ventil	1NP2	AO
42	řízení	čerpadlo 9	1NP2	DO
43	monitorování	teplotní snímač	1NP2	AI
44	řízení	třicestný směš. ventil	2NP	AO
45	řízení	čerpadlo 10	2NP	DO
46	monitorování	teplotní snímač	2NP	AI
47	řízení	čerpadlo 11	HP – primár	DO
48	řízení	dvoucestný reg. ventil	HP – primár	AO
49	monitorování	teplotní snímač	HP – přívod	AI
50	monitorování	teplotní snímač	HP – vrat	AI
51	řízení	čerpadlo 12	HP - sekundár	DO

Řídicí a monitorovací systém výměňkové stanice bude tedy zajišťovat automatický chod stanice a do systému bude umožněn i vzdálený přístup přes webové rozhraní.

System bude na straně ohřevu teplé vody hlídat následující havarijní stavy:

- překročení maximální teploty topné vody
- překročení maximální teploty teplé vody
- pokles tlaku v topném systému pod minimální hodnotu
- překročení maximální teploty vzduchu v místnosti instalace
- zaplavení místnosti instalace

9.3 Volba řídicích systémů

Řídicí systém pro dohled a automatizaci budovy bude řešen pomocí produktů společnosti Johnson Controls. Celý systém se bude skládat z řízení výměňkové stanice sestávající z výše popsaného vytápěcího systému a systému pro ohřev teplé vody a dále z místního řízení teploty přímo v jednotlivých místnostech. Systém bude řízen pomocí sběrnice systému LonWorks.

9.3.1 Řízení výměňkové stanice

Pro řízení výměňkové stanice budou vzhledem k počtu jednotlivých typů vstupů a výstupů využity 3 polní regulátory FX15. Polní regulátor FX15 má 27 fyzických vstupů/výstupů a podporuje široký rozsah typů teplotních snímačů a ovládacích zařízení. Regulátor FX15 je plně programovatelný pro široký rozsah aplikací řízení, a to pomocí softwarového balíku FX Tools. Regulátory FX15 budou vybaveny sériovou komunikační kartou sloužící k integraci do systému automatizace budovy LonWorks. U samostatných aplikací je tento regulátor také možné vybavit kartou hodin reálného času, která umožňuje používání časových plánů pro zapínání a vypínání zařízení a používání řídicích sekvencí založených na reálném čase.

Pro konkrétní aplikaci byl vybrán regulátor FX15D12, který obsahuje 6 analogových vstupů, 8 digitálních vstupů, 4 analogové výstupy a 9 digitálních výstupů.



Obrázek 34: Regulátor FX15

9.3.2 Místní ovládání teploty

Místní regulace bude prováděna pomocí napětím řízených termostatických radiátorových ventilů umístěných na jednotlivých otopných tělesech. Tyto regulační ventily budou ovládány pomocí regulátorů FX07.

Regulátor FX07

Regulátor FX07 je regulátor koncových zařízení navržený pro komerční vytápění, ventilační, klimatizační a chladicí (HVAC/R) aplikace. Regulátor FX07 má 17 fyzických vstupů/výstupů a obsahuje vnitřní hodiny reálného času, které umožňují používání řídicích sekvencí založených na reálném čase, záznamu času a událostí. FX07 bude opět vybaven komunikační kartou LonWorks umožňující připojení regulátoru do nadřazeného systému automatické správy budovy.

Pro konkrétní aplikaci byl zvolen regulátor FX07D22, který obsahuje 4 analogové vstupy, 5 digitálních vstupů, 6 digitálních výstupů, ale hlavně 2 analogové výstupy 0 až 10 V, kterými bude možné ovládat termostatické radiátorové ventily.

Tyto regulátory budou řízeny pomocí teploty, která bude v jednotlivých místnostech měřena. Teplota v místnostech bude řízena vytvořeným časovým denním a týdenním programem.



Obrázek 35: Regulátor FX07

Prostorový ovládací modul řady RS-1100

K úpravě požadované teploty v místnosti bude sloužit prostorový ovládací modul řady RS-1100, který je určen pro použití právě s regulátory řady FX. Tyto moduly poskytují signál 0 až 10 V, který je přímo úměrný snímané teplotě. Pro konkrétní aplikaci byl vybrán prostorový ovládací modul RS-1160-0000, který umožňuje ovládat teplotu pomocí otočného ovladače s vyznačenou teplotní stupnicí. Tento model nemá integrován LCD displej.



Obrázek 36: RS-1160

Regulátor FX16 Master

Dalším prvkem systému bude polní regulátor FX16 Master, který umí řídit distribuovanou aplikaci s až 16 podřízenými regulátory FX (FX06, FX07, FX14, FX15). Parametry této distribuované aplikace lze zobrazovat a upravovat pomocí volitelného uživatelského rozhraní. Právě regulátor FX16 Master bude nadřazeným prvkem pro regulátory FX07.

Regulátor FX16 Master je polní regulátor navržený specificky pro komerční vytápěcí, ventilační, klimatizační a chladičí (HVAC/R) aplikace. FX16 Master má 27 fyzických vstupů a výstupů a podporuje poměrně širokou škálu snímačů teploty a ovládacích

zařízení. Přidáním rozšiřovacích modulů XT/XP může být dosaženo až 64 dodatečných fyzických vstupů a výstupů.

FX16 zahrnuje rovněž komunikační služby, které zajišťují přenos zpráv upozorňujících na události prostřednictvím SMS (Short Messaging Service) nebo e-mailu. Pomocí zabudovaného webového serveru může uživatel ze vzdálené lokality prohlížet parametry aplikace a upravovat je. Regulátor FX16 Master programovatelný pomocí softwarového balíku FX Tools a pro konkrétní aplikaci je opět vybaven komunikační kartou LonWorks pro připojení regulátoru do nadřazeného systému automatické správy budov.

Pro konkrétní aplikaci byl vybrán regulátor FX16D12 vybavený 6 analogovými vstupy, 8 digitálními vstupy, 4 analogovými výstupy a 9 digitálními výstupy.

9.4 Komunikační brána

Celý řídicí systém je možné připojit k IP síti a umožnit tak webový přístup do systému řízení budovy Metasys (BMS) pomocí síťové automatizační jednotky NAE. Jednotka NAE používá komunikační technologie z oblasti průmyslové automatizace budov, včetně protokolu BACnet, sítě LonWorks a N2 Bus. Pro řešení řídicí systém byla vybrána průmyslová komunikační síťová platforma (komunikační sběrnice) LonWorks. Použitím této technologie jednotka NAE umožňuje monitorování a řízení technologií v budově, správu alarmů a událostí, časové plánování a ukládání dat. Jednotka NAE má zabudováno uživatelské rozhraní a podporuje přístup přes internetový prohlížeč z několika míst současně. Pro tento vzdálený přístup je využíváno personalizace a zabezpečení heslem.

Jednotky řady NAE35/45 jsou určeny pro menší budovy a umožňují širší distribuci řídicích funkcí v rozsáhlejších zařízeních. Pro řešenou budovu byla vybrána automatizační jednotka NAE4520-2. Tato jednotka vyžaduje napájení 24 Vstř. Podporuje jedno rozhraní LonWorks, má další sériový port RS-232-C pro volitelný externí modem a na rozhraní LonWorks je podporováno až 127 zařízení.

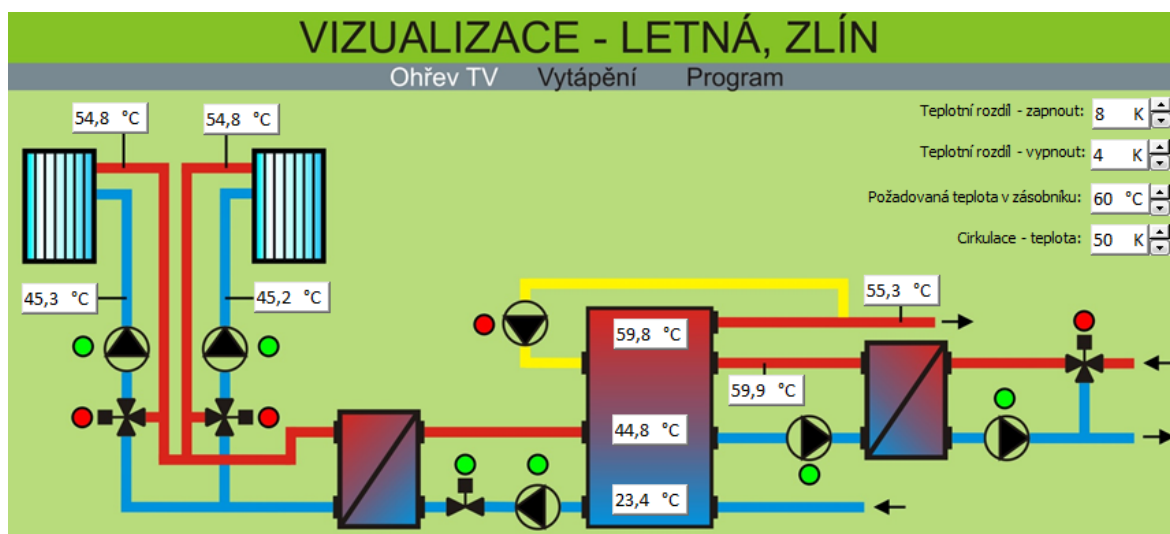


Obrázek 37: NAE45 Síťová automatizační jednotka

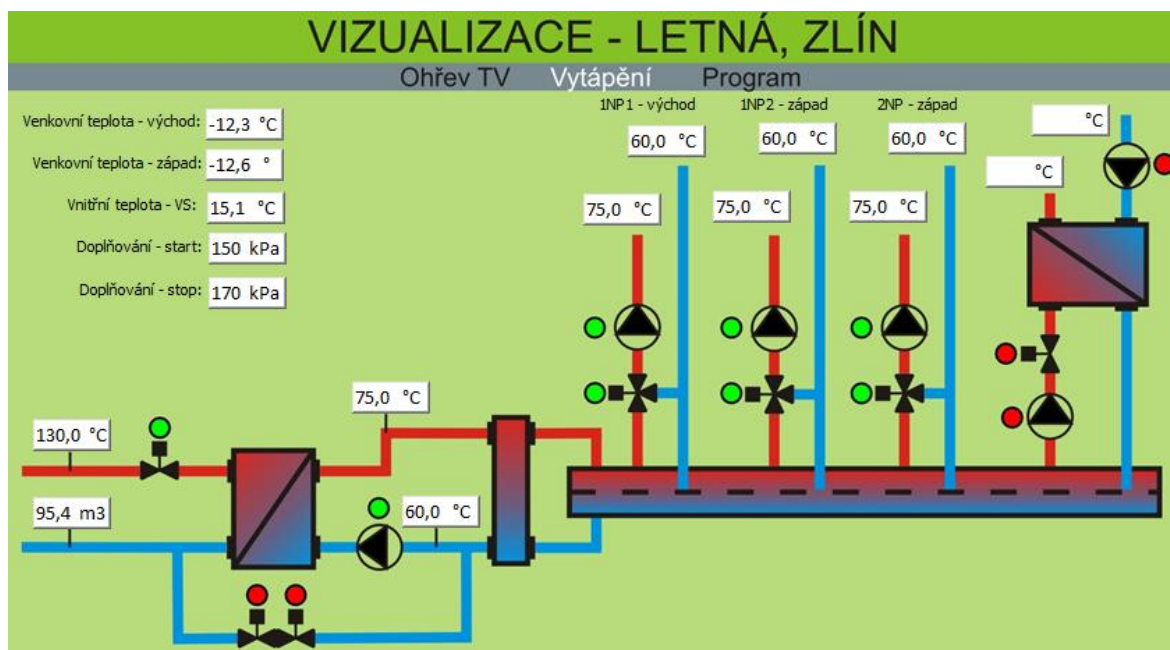
10 VIZUALIZACE SYSTÉMU

K řízení jednotlivých systémů byl navržen obslužný SCADA systém. Pomocí této vizualizace je možné jednoduše a přehledně řídit všechny prvky systému připojené k příslušným regulátorům. Pomocí SCADA systému je také možné nastavit požadované časové programy jednotlivých technologických systémů. Vstupovat do tohoto systému ovládání je umožněno přes webové rozhraní, a to díky použité automatizační jednotce NAE.

Společnost Johnson Controls využívá k vizualizaci softwarový nástroj M-Graphics.



Obrázek 38: Vizualizace systému pro ohřev teplé vody



Obrázek 39: Vizualizace systému pro vytápění

11 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ SOLÁRNÍHO SYSTÉMU

Při návrhu jakéhokoliv projektu je vždy nutné brát v úvahu jeho ekonomické hledisko. Projekt, jehož počáteční a provozní náklady jsou vyšší než případný přínos získaný během doby životnosti projektu, nemá v praxi žádnou šanci na uskutečnění. Součástí každého investičního projektu tak musí být technicko-ekonomické zhodnocení, na jehož základě lze říci, zda lze projekt doporučit k realizaci či nikoliv.

PARAMETRY SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ - KŘIVKA ÚČINNOSTI JE VZTAŽENA K PLOŠE APERTURY

Optická účinnost η_o (0 až 1)	<input type="text" value="0.708"/>	???
Lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru α_1	<input type="text" value="1.57"/>	W/m ² .K ???
Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru α_2	<input type="text" value="0.007"/>	W/m ² .K ² ???
Počet kolektorů	<input type="text" value="24"/>	ks ???
Plocha apertury solárního kolektoru A_{k1}	<input type="text" value="2.15"/>	m ² ???
Celková plocha apertury kolektorů	<input type="text" value="51.6"/>	m ²
Střední denní teplota v solárních kolektorech $t_{k,m}$	<input type="text" value="50 °C - Příprava teplé vody, pokrytí < 70 %"/>	???
Srážka z tepelných zisků kolektorů vlivem tep. ztrát p	<input type="text" value="Příprava teplé vody, od 10 do 50 m2"/>	???
Sklon kolektoru β	<input type="text" value="45"/>	° ???
Azimut kolektoru γ (jih = 0°)	<input type="text" value="0"/>	° ???

měsíc	n dny	t_{ep} °C	t_{es} °C	$G_{T,m}$ W/m ²	η_k -	$H_{T,den}$ kWh/m ² .den	$H_{T,měs}$ kWh/m ²	$Q_{k,u}$ kWh	$Q_{p,TV}$ kWh	$Q_{p,VYT}$ kWh	$Q_{p,BV}$ kWh	$Q_{p,c}$ kWh	$Q_{ss,u}$ kWh
leden	31	-1.5	2.2	418	0.49	1.1	34.1	699	8170	0	0	8170	699
únor	28	0	3.4	489	0.53	1.97	55.2	1216	7379	0	0	7379	1216
březen	31	3.2	6.5	535	0.56	3.2	99.2	2304	8170	0	0	8170	2304
duben	30	8.8	12.1	527	0.58	3.96	118.8	2860	7906	0	0	7906	2860
květen	31	13.6	16.6	521	0.59	4.84	150	3715	8170	0	0	8170	3715
červen	30	17.3	20.6	517	0.61	5.29	158.7	4026	7906	0	0	7906	4026
červenec	31	19.2	22.5	512	0.61	5.19	160.9	4124	6127	0	0	6127	4124
srpen	31	18.6	22.6	515	0.61	4.71	146	3749	6127	0	0	6127	3749
září	30	14.9	19.4	516	0.6	3.95	118.5	2983	7906	0	0	7906	2983
říjen	31	9.4	13.8	488	0.57	2.4	74.4	1781	8170	0	0	8170	1781
listopad	30	3.2	7.3	427	0.52	1.21	36.3	791	7906	0	0	7906	791
prosinec	31	-0.2	3.5	387	0.48	0.77	23.9	479	8170	0	0	8170	479
							1176	28725	92106	0	0	92106	28725

$q_{ss,u}$	557 kWh/m ² .rok
f	31 % ???
$Q_{ss,u}$	28725 kWh/rok

Obrázek 40: Zjednodušená bilance solárního systému

Z předchozího obrázku vyplývá, že celková roční spotřeba tepla na ohřev vody se pohybuje okolo hodnoty $Q_{p,c} = 92106 \text{ kWh}$. Skutečně využitelné roční zisky solárního

systemu jsou potom $Q_{ss,u} = 28725 \text{ kWh}$. Solární podíl (pokrytí spotřeby tepla) je potom tedy roven $f = 31 \%$.

Dodávka tepelné energie na stadionu je nakupována od společnosti Alpiq Zlín, s.r.o., která je dodavatelem z centrálního zásobování teplem. Cena za 1 GJ je v roce 2012 stanovena na 387,6 Kč.

Výpočet ceny energie v případě, že by bylo využíváno pouze CZT:

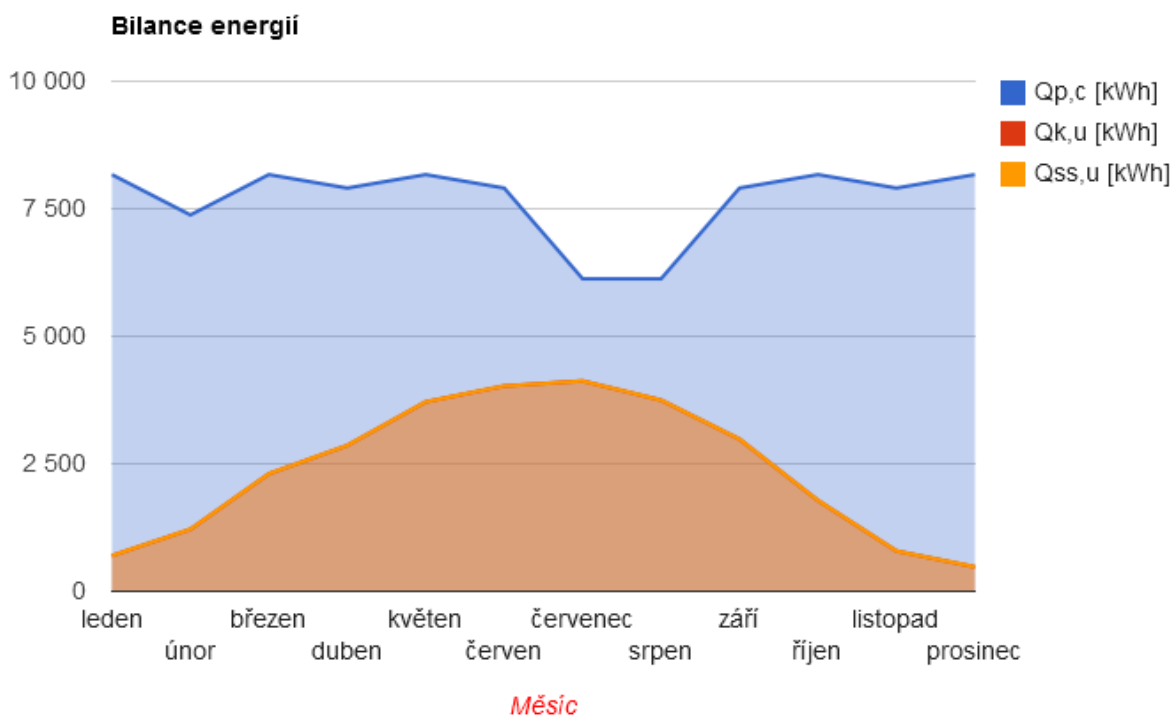
$$Q_{p,c} = 92106 \text{ kWh} \Rightarrow 331581,6 \text{ MJ} = 331,6 \text{ GJ} \Rightarrow 128529 \text{ Kč}$$

Výpočet ušetřených nákladů v případě instalování solárního systému:

$$Q_{ss,u} = 28725 \text{ kWh} \Rightarrow 103410,0 \text{ MJ} = 103,4 \text{ GJ} \Rightarrow 40079 \text{ Kč}$$

Roční výnos z pořizovaného systému je tedy 88 450 Kč. Uvažovaná změna výnosu z pořizovacího zařízení byla stanovena na 6 %.

Roční náklady na provoz pořizovaného zařízení se skládají z nákladů na elektrickou energii, která je nutná k provozu oběhových čerpadel a dále pak z nákladů na běžnou údržbu a servis nebo nákladů na solární kapalinu. Roční náklady byly tedy po zvážení stanoveny na 10 000 Kč a jejich roční změna na 6 %.



Obrázek 41: Dodávka energie ze slunečních kolektorů v porovnání s roční spotřebou

Základní parametry investice

Doba životnosti projektu [počet let] ???

Celková investice do zařízení [Kč] ???

Úvěr nutný pro pořízení zařízení ???

Úvěr (vypůjčená částka) [Kč]

Úroková sazba [%]

Doba splácení úvěru [počet let]

Roční výnos z provozovaného zařízení ???

Roční výnos z pořizovaného zařízení [Kč]

Roční změna výnosu z pořizovaného zařízení [%]

Roční náklady na provoz pořizovaného zařízení ???

	Roční náklady [Kč]	Roční změna nákladů [%]
č. 1	<input type="text" value="10000"/>	<input type="text" value="6"/>
č. 2	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

Doplňkové parametry investice

Diskont - výnos alternativní investice % ???

Bude se danit zisk z projektu? ??? Ne Ano

Obrázek 42: Vstupní parametry technicko-ekonomického zhodnocení

Prostá doba návratnosti

Prostá doba návratnosti je nejjednodušší a velice často užívané ekonomické kritérium, avšak jeho vhodnost je na zvážení. Největší nevýhodou tohoto kritéria je, že zanedbává efekty po době návratnosti a zanedbává fakt, že peníze můžeme vložit do jiných investičních příležitostí. V tomto případě se však s využitím alternativní investiční příležitosti neuvažuje.

Prostá doba návratnosti se standardně počítá následovně:

$$T_s = \frac{IN}{CF}$$

kde

IN – investiční, jednorázové náklady na realizaci úspor

CF – roční peněžní toky

Diskontovaná doba návratnosti

Diskontovaná doba návratnosti je podobné kritérium jako prostá doba návratnosti, ale s tím rozdílem, že není založena na prostém peněžním toku, nýbrž na peněžním toku diskontovaném.

Diskontovaný peněžní tok v roce t lze spočítat dle vztahu:

$$T_{ds} = \frac{IN}{DCF}$$

$$DCF = \frac{CF}{(1+r)^t}$$

kde

r – diskont

t – rok, ke kterému se DCF počítá

V případě uvažování výnosu alternativní investice je diskontovaná doba návratnosti delší než prostá doba návratnosti investice.

NPV (Čistá současná hodnota)

Čistá současná hodnota je v dnešní době jedním z nejvhodnějších kritérií. Je v ní zahrnuta celá doba životnosti projektu, i možnost investování do jiného stejně rizikového projektu.

Čistá současná hodnota se počítá dle vztahu:

$$NPV = \sum_0^t DCF = \sum_0^t \frac{CF}{(1+r)^t}$$

V případě, že hodnota NPV vyjde kladná, lze projekt doporučit k realizaci.

IRR (vnitřní výnosové procento)

Jedná se o trvalý roční výnos investice. Jedná se tedy o diskont, při němž je NPV investice rovno nule.

$$NPV = \sum_0^t DCF = \sum_0^t \frac{CF}{(1+r)^t} = 0 \Rightarrow IRR = r$$

VÝSLEDKY	
NPV - čistá současná hodnota projektu:	3203463 Kč ???
Roční ekvivalentní finanční toky investice:	0 Kč ???
Doba návratnosti:	11 let ???
Diskontovaná doba návratnosti:	11 let ???
IRR - vnitřní výnosové procento investice:	11 % ???

Obrázek 43: Výsledky zhodnocení investice, diskont 0 %

Pokud by byl uvažován diskont 7 %. Prodloužila by se diskontovaná doba návratnosti až na 17 let. Změna dalších parametrů je vidět na obrázku níže.

VÝSLEDKY	
NPV - čistá současná hodnota projektu:	541130 Kč ???
Roční ekvivalentní finanční toky investice:	46435 Kč ???
Doba návratnosti:	11 let ???
Diskontovaná doba návratnosti:	17 let ???
IRR - vnitřní výnosové procento investice:	11 % ???

Obrázek 44: Výsledky zhodnocení investice, diskont 7 %

ZÁVĚR

Diplomová práce měla za cíl návrh vhodného systému techniky prostředí, a to na základě provedení předchozí analýzy budovy. Také mělo být zváženo využití alternativních zdrojů energie. Pro takto navržený systém techniky prostředí měl být navržen vhodný řídicí a monitorovací systém. Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

Řešená budova je hlavní tribunou fotbalového stadionu Letná ve Zlíně a uvnitř budovy se nachází kompletní zázemí fotbalového klubu. Z tohoto důvodu je v úvodu práce popsáno zázemí sportovních budov a provedena kategorizace těchto prostor do jednotlivých funkčních celků, které se mohou lišit požadavky na vnitřní prostředí. Pro lepší pochopení využití budovy jsou dále popsány požadavky na sportovní část budovy, které jsou kladeny Fotbalovou asociací ČR.

V další kapitole jsou popsány vnější klimatické podmínky, které mají vliv na provoz budovy. V kapitole věnující se mikroklimatickým požadavkům je pozornost věnována tepelné a hygienické pohodě. Samostatná kapitola je věnována systémům techniky prostředí. V kapitole jsou uvedeny základní možnosti řešení a dělení těchto systémů. Stejně je koncipována i kapitola popisující obnovitelné zdroje energie. Závěr teoretické části je věnován komunikačním sběrnicím a protokolům v automatizaci budov, konkrétně jsou popsány sběrnice KNX a LonWorks.

V praktické části je nejprve analyzován stav konstrukcí budovy a porovnání tohoto stavu s legislativními požadavky. Na základě zjištěných poznatků byl navržen zateplovací systém budovy tak, aby bylo dosaženo požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla a nedocházelo ke kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukcí. Pro vnější tepelně izolační kompozitní systém bylo využito certifikovaného systému VKZS HELUZ s vnějšími obkladovými cihelnými pásky. Použitým izolantem je pěnový polystyren EPS o tloušťce 16 cm. K zateplení střechy bylo využito dvou vrstev minerální vlny o celkové tloušťce 22 cm. Dále byla navržena výměna starých dřevěných oken za nová plastová okna s izolačním dvojsklem.

V další kapitole byly pomocí softwaru Ztráty 2011 stanoveny tepelné ztráty budovy a stanoven návrhový tepelný výkon budovy. Praktický výpočet je prezentován na místnosti, ve které se nachází šatna domácích.

Dále následuje kapitola, ve které je proveden návrh výměňkové stanice, jejíž součástí jsou systémy pro ohřev teplé vody a vytápění budovy. K vytápění budovy byl navrhnout teplovodní systém s teplotním spádem 75/60 °C. Otopná soustava využívá k vytápění deskových otopných těles Korado. Zdrojem tepelné energie je horkovodní přípojka o teplotním spádu 130/70 °C. V rámci výměňkové stanice byl navrhnout deskový výměňník tepla Alfa Laval CB200-124M, oběhová čerpadla Grundfos, třicestné směšovací ventily IMI TA CV 325 s pohonem, pojistný ventil a expanzní nádobu o objemu 80 litrů.

Pro ohřev teplé vody byl navrhnout solární systém, ve kterém jsou využity trubicové vakuové solární kolektory Regulus KTU9R. Dle propočtů by měl tento solární systém ušetřit přibližně 88 450 Kč na energii ročně a každé zdražení cen energií tuto částku zvyšuje. Prostá doba návratnosti je 11 let. Druhou částí systému pro ohřev teplé vody je horkovodní přípojka a k přenosu tepla dochází stejně jako u solárního systému v samostatném externím deskovém výměňníku tepla.

Dále byl navrhnout řídicí a monitorovací systém využívající komunikační sběrnici LonWorks. Pro samotnou regulaci byly vybrány produkty firmy Johnson Controls, konkrétně nadřazené regulátory FX16 Master, polní regulátory FX15 a FX07 a také prostorové ovládací moduly RS-1100.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

This thesis was aimed at designing a system of engineering environment based on previous analysis of the building. Use of alternative energy sources should also be considered. For this proposed system should be designed appropriate control and monitoring system. This thesis is divided into theoretical and practical parts.

The actual building is main grandstand of football stadium Letna in Zlin and within the building is complete background of the football club. For this reason, the thesis describes background of sports buildings. Building areas are categorized into various functional units. For better understanding of usage of building is sports unit described.

The next chapter describes the external climatic conditions that affect the operation of the building. The chapter about microclimatic conditions is aimed to thermal and hygiene comfort. A separate section is devoted to engineering systems. This chapter provides basic options for partitioning of these systems. The conclusion of the theoretical part is dedicated to communications buses and protocols in building automation. KNX and LonWorks are specifically described.

In the practical part is first state of building structure analyzed. This state is compared with legislative requirements. Design of the external thermal insulation composite system was based on the findings of overall heat transfer. This system must also avoid condensation inside the structure. Expanded polystyrene with a thickness of 16 cm was used for thermal insulation of external walls. The roof was insulated with mineral wool with a thickness of 22 cm. New windows with insulating double glass were used.

In the next chapter heating load and thermal performance were set. The practical calculation is presented in a room which is home dressing room.

In the following chapter is made design of heat exchange station which includes systems for water heating and heating system. Heating system use water with a temperature gradient 75/60 °C. Korado radiators are used for heating in rooms. The source of thermal energy is the hot water with a temperature gradient 130/70 °C. Plate type heat exchanger Alfa Laval CB200-124m, Grundfos recirculation pumps, 3-way control valves IMI TA CV 325, safety valve and membrane expansion vessel with a capacity of 80 liters were proposed in the heat exchange station.

For water heating was designed solar system which use Regulus vacuum tube solar collectors KTU9R. The solar system should save 88 450 CZK per year for energy. Payback period is 11 years. The second part of the system for water heating is the other plate type heat exchanger which uses a hot water in the primary circuit.

It was also designed control and monitoring system using LonWorks communication. For the control were selected Johnson Controls products, specifically FX16 Master controller, FX15 and FX07 controllers and RS-1100 spatial control module.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] UEFA Stadium Infrastructure Regulations. [online]. 2010 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://www.fai.ie/PDF/UEFAStadiumInfrastructureRegulations2010.PDF>
- [2] Licenční manuál ČMFS. Praha, 2009.
- [3] *Studijní materiály předmětu Technika prostředí budov*. Zlín, 2011.
- [4] SMOLÍK, Jan. *Technika prostředí*. Praha: SNTL, 1985, 317 s.
- [5] ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [6] Sluneční mapa. *Mivvy energy* [online]. 2010 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://www.mivvyenergy.eu/slunecni-mapa>
- [7] SZÉKYOVÁ, Marta. *Větrání a klimatizace*. 1. vyd. Bratislava: Jaga, 2006, 359 s. ISBN 80-807-6037-3.
- [8] CHYSKÝ, Jaroslav. *Větrání a klimatizace*. Vyd. 3., zcela přeprac. Praha: Česká Matice technická, 1993, 490 s. ISBN 80-901-5740-8.
- [9] ISO 8996. *Ergonomie tepelného prostředí - Určování metabolismu*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [10] CENTNEROVÁ, Lada. Tepelná pohoda a nepohoda. *TZB-info.cz* [online]. 2000, č. 5 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>
- [11] 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.
- [12] JANEČKA, Jan. Hodnocení tepelného stavu prostředí. *Odbornecasopisy.cz* [online]. 2009, č. 1 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=38112
- [13] SOTO, Jesús. Porcentaje de personas termicamente insatisfechas. *Tecnosostenible* [online]. 2008 [cit. 2012-02-18]. Dostupné z: http://tecno.sostenibilidad.org/index.php?option=com_content&task=view&id=417&Itemid=234

- [14] DOLEŽÍLKOVÁ, Hana. Kvalita vnějšího a vnitřního vzduchu. *TZB-info* [online]. 2010[cit. 2012-02-19]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/6486-kvalita-vnejsiho-a-vnitriho-vzduchu>
- [15] Česká republika. Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. In: č. 111/2007 *Sbírky zákonů*. 2007.
- [16] ČSN 730540-2. *Tepelná ochrana budov - Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [17] ČSN EN 15251. *Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [18] ČSN EN 15665/Z1. *Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [19] ŘEHÁNEK, Jaroslav, Antonín JANOUŠ, Petr KUČERA a Jaroslav ŠAFRÁNEK. *Tepelně-technické a energetické vlastnosti budov*. Praha: Grada Publishing, 2002, 248 s. ISBN 8071695823.
- [20] JELÍNEK, Vladimír. Difuzní tok a kondenzace vodní páry v konstrukci stěny. *TZB-info.cz* [online]. 2010, č. 3 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/vlhkost-a-kondenzace-v-konstrukcich/6824-difuzni-tok-a-kondenzace-vodni-pary-v-konstrukci-steny-cast-3-kondenzace-vodni-pary-v-konstrukci>
- [21] PŘIBÁŇOVÁ, Henrietta a Ariana LAJČÍKOVÁ. Umělé osvětlení vnitřního prostředí. *TZB-info.cz* [online]. 2003, č. 1 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1303-umele-osvetleni-vnitriho-prostredi>
- [22] ČSN EN 12193. *Světlo a osvětlení - Osvětlení sportovišť*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [23] VALENTA, V. *Topenářská příručka 1, 2, 3*. Praha: Agentura ČSTZ, 2007. ISBN 978-80-86028-13-2.
- [24] *Studijní materiály předmětu Systémy techniky prostředí*. Zlín, 2011.
- [25] VRÁNA, Jakub. *Technická zařízení budov v praxi: [příručka pro stavaře]*. 1. vyd. Praha: Grada, 2007, 331 s. ISBN 978-80-247-1588-9.

- [26] HÁJEK, Jan. Tepelná čerpadla. *Ekoserver.cz* [online]. 2010, č. 1 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://www.ekoserver.cz/index.php/write/clanek/303/>
- [27] MAŤUŠ, Michal. *A9TBD - Technologie budov: Výukový materiál*. Zlín, 2010.
- [28] Termické solární kolektory. *Solarni-energie.info* [online]. 2010, č. 1 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://www.solarni-energie.info/termicke-solarni-panely-kolektory.php>
- [29] *Regulus.cz* [online]. 2010 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz>
- [30] KUNC, Josef. Topologické uspořádání systémové instalace. *Elektrika.cz* [online]. 2006, č. 1 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/clanek.2005-12-03.6773500920>
- [31] KUNC, Josef. Přenos informací v KNX/EIB. *Elektrika.cz* [online]. 2007, č. 1 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/systemove-elektricke-instalace-knx-eib-5-cast/view>
- [32] MATZ, Václav. Systémy používané v inteligentních budovách: Přehled komunikačních protokolů. *TZB-info.cz* [online]. 2010, č. 1 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6879-systemy-pouzivane-v-inteligentnich-budovach-prehled-komunikacnich-protokolu>
- [33] VOJÁČEK, Antonín. Sběrnice LonWorks: LonTalk protokol. *Automatizace.hw.cz* [online]. 2005, č. 1 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2005041101>
- [34] *Brickland.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://www.brickland.cz/cz>
- [35] BAŠTA, Jiří. Otopné plochy - navrhování otopných těles. *TZB-info.cz* [online]. 2006, č. 3 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3101-otopne-plochy-iii-navrhovani-otopnych-teles>
- [36] BAŠTA, Jiří. Otopné plochy - úvod do problematiky: Teplotnické chování otopné plochy a pohoda prostředí. *TZB-info.cz* [online]. 2006, č. 1 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3052-otopne-plochy-uvod-do-problematiky>
- [37] VAVŘIČKA, Roman. Metody návrhu zásobníku teplé vody. *TZB-info.cz* [online]. 2011, č. 1 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/7885-metody-navrhu-zasobniku-teple-vody>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied
PEL	Přípustný expoziční limit
NPK	Nejvyšší přípustná koncentrace
CZT	Centralizované zásobování teplem
ZZT	Zpětné získávání tepla
EIBA	European Installation Bus Association
FSK	Frequency Shift Keying
PSU	Power Supply Unit
BCU	Bus Coupler Unit
ISO	International Organization for Standardization
OSI	Open Systems Interconnection
FTP	File Transfer Protocol
DNS	Domain Name Server
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CA	Collision Avoidance
LON	Local Operating Network
ETICS	External Thermal Insulation Composite System
VKZS	Vnější tepelně izolační kompozitní systém
LCD	Liquid Crystal Display
HVAC/R	Heating, Ventilation and Air Conditioning/Refrigeration
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Průměrný roční úhrn globálního záření [6]	20
Obrázek 2: Grafické vyjádření závislosti PPD na PMV [13]	30
Obrázek 3: Princip kondenzace vodní páry v konstrukci	42
Obrázek 4: Topologické uspořádání systému KNX	60
Obrázek 5: Fyzická adresa účastníků v síti KNX	60
Obrázek 6: Porovnání vrstev modelů KNX a ISO/OSI	62
Obrázek 7: Odesílání telegramu	63
Obrázek 8: Struktura telegramu KNX TP	63
Obrázek 9: Schéma přístupu daného uzlu na sběrnici [33]	65
Obrázek 10: Náčrtek půdorysu prvního nadzemního podlaží	68
Obrázek 11: Náčrtek půdorysu druhého nadzemního podlaží	69
Obrázek 12: Kondenzace vodní páry v konstrukci původní obvodové zdi	71
Obrázek 13: Princip nanášení lepicí malty na polystyrenový izolant [34]	74
Obrázek 14: Tepelné ztráty místnosti 1.19 dle programu Ztráty 2010	86
Obrázek 15: Celkové tepelné ztráty objektu – Ztráty 2010	86
Obrázek 16: Schéma výměňkové stanice	88
Obrázek 17: Protiproudý výměník tepla pro přípravu topné vody	90
Obrázek 18: CB 200-124M	91
Obrázek 19: Kompaktní rozdělovač a sběrač RacioTerm	91
Obrázek 20: Hydraulický vyrovnávač dynamických tlaků	92
Obrázek 21: Pracovní charakteristika čerpadla MAGNA 32-100	95
Obrázek 22: Výpočtová aplikace dostupná na tzb-info.cz	99
Obrázek 23: Otopné těleso Korado Radik Klasik	101
Obrázek 24: a) typ 10, b) 11, c) 20, d) 21, e) 22, f) 33	102
Obrázek 25: Připojení otopného tělesa	102
Obrázek 26: Křivky dodávky a odběru energie v zásobníku TV během jednoho dne	108
Obrázek 27: Zásobník R0BC 2500 l	109
Obrázek 28: Sluneční kolektor KTU9R vakuový s 9 U trubicemi	110
Obrázek 29: Výkon dopadajícího slunečního záření	111
Obrázek 30: Hydraulické zapojení solárního systému pro ohřev TV	112
Obrázek 31: Deskový výměník DVB285-60 izolovaný	113
Obrázek 32: Schéma řízení a monitorování systému pro ohřev teplé vody	116

Obrázek 33: Schéma řízení a monitorování systému vytápění budovy.....	119
Obrázek 34: Regulátor FX15	123
Obrázek 35: Regulátor FX07	124
Obrázek 36: RS-1160.....	124
Obrázek 37: NAE45 Síťová automatizační jednotka.....	125
Obrázek 38: Vizualizace systému pro ohřev teplé vody.....	126
Obrázek 39: Vizualizace systému pro vytápění.....	126
Obrázek 40: Zjednodušená bilance solárního systému.....	127
Obrázek 41: Dodávka energie ze slunečních kolektorů v porovnání s roční spotřebou....	128
Obrázek 42: Vstupní parametry technicko-ekonomického zhodnocení	129
Obrázek 43: Výsledky zhodnocení investice, diskont 0 %.....	131
Obrázek 44: Výsledky zhodnocení investice, diskont 7 %.....	131

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Snížení výpočtové venkovní teploty s ohledem na nadmořskou výšku [5]	18
Tabulka 2: Relativní vlhkost vnějšího vzduchu.....	19
Tabulka 3: Celková produkce tepla člověka při různých činnostech [9].....	23
Tabulka 4: Celková produkce tepla člověkem u různých sportů.....	23
Tabulka 5: Závislost součinitele A rychlosti proudění vzduchu va	26
Tabulka 6: Optimální podmínky vnitřního mikroklimatu pro obytné prostory	27
Tabulka 7: Stupnice hodnocení PMV	29
Tabulka 8: Vztahy mezi indexy PMV a PPD	29
Tabulka 9: PEL a NPK u vybraných škodlivin.....	33
Tabulka 10: Požadavky na větrání obytných budov [18]	35
Tabulka 11: Požadavky na větrání pobytových prostor [15].....	36
Tabulka 12: Výměna vzduchu v sanitárních zařízeních	36
Tabulka 13: Kategorie podlah z hlediska poklesu dotykové teploty podlahy	39
Tabulka 14: Kategorie podlah v různých prostorách dle ČSN 73 0540-2.....	40
Tabulka 15: Požadavky normy ČSN EN 12193	46
Tabulka 16: Typy médií u KNX	58
Tabulka 17: LON – přenosová média a jejich max. rychlosti	64
Tabulka 18: Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla [16].....	69
Tabulka 19: Skladba původní vnější obvodové stěny	70
Tabulka 20: Skladba původní střechy.....	71
Tabulka 21: Skladba podlahy	72
Tabulka 22: Skladba vnitřní stěny	72
Tabulka 23: Skladba sádrokartonové stěny	73
Tabulka 24: Navržená skladba tepelně izolačního kompozitního systému s obkladem	74
Tabulka 25: Navržená skladba tepelně izolačního systému ploché střechy	76
Tabulka 26: Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit.....	77
Tabulka 27: Návrhové hodnoty parametrů vnitřního prostředí	78
Tabulka 28: Okruhy otopné soustavy	92
Tabulka 29: Parametry otopné soustavy	93
Tabulka 30: Souhrn navržených oběhových čerpadel	95
Tabulka 31: Souhrn navržených třicestných směšovacích ventilů	97
Tabulka 32: Spotřeba energie pro ohřev teplé vody	103

Tabulka 33: Odběr TV v průběhu dne	104
Tabulka 34: Vysvětlivky – ohřev TV	118
Tabulka 35: Vysvětlivky – otopná soustava	121

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I: Seznam použitých otopných těles

PŘÍLOHA P I: SEZNAM POUŽITÝCH OTOPNÝCH TĚLES

Místnost	Typ tělesa	Spád	Výška [mm]	Šířka [mm]	Objem [l]	Výkon OT [W]	Cena [Kč]
102	22	75/60/15	600	1200	6,96	2141	3857
109	33	75/60/24	600	1200	10,44	2373	
114	21	75/60/24	600	1400	8,12	1484	3790
114	21	75/60/24	600	1400	8,12	1484	3790
114	21	75/60/24	600	1400	8,12	1484	3790
114	21	75/60/24	600	1400	8,12	1484	3790
115	21	75/60/20	600	800	4,64	956	2689
115	21	75/60/20	600	800	4,64	956	2689
116	11	75/60/20	600	1400	4,34	1303	2800
117	10	75/60/20	500	400	1,08	191	751
118	11	75/60/20	600	600	1,86	558	1690
118	11	75/60/20	600	600	1,86	558	1690
119	22	75/60/22	600	1800	10,44	2644	5192
119	22	75/60/22	600	1800	10,44	2644	5192
121	33	75/60/24	600	1400	12,18	2768	6309
121	33	75/60/24	600	1400	12,18	2768	6309
123	11	75/60/24	600	1600	4,96	1324	3078
124	11	75/60/22	600	1400	4,34	1230	2800
126	11	75/60/22	600	1200	3,72	1054	2523
127	10	75/60/20	600	1400	4,34	787	1758
127	10	75/60/20	600	1400	4,34	787	1758
127	10	75/60/20	600	1400	4,34	787	1758
127	10	75/60/20	600	1400	4,34	787	1758
127	10	75/60/20	600	1400	4,34	787	1758
127	10	75/60/20	600	1400	4,34	787	1758
127	10	75/60/20	600	1100	3,41	617	1758
128	10	75/60/20	500	400	1,08	191	751
137	10	75/60/20	600	1200	3,72	674	1574
139	21	75/60/20	600	1400	8,12	1673	3790
139	21	75/60/20	600	1400	8,12	1673	3790
139	21	75/60/20	600	1400	8,12	1673	3790
140	21	75/60/20	600	1400	8,12	1673	3790
141	33	75/60/22	600	1400	12,18	2944	6309
141	33	75/60/22	600	1400	12,18	2944	6309
143	33	75/60/24	600	1600	13,92	3165	6938
144	11	75/60/20	600	1400	4,34	1303	2800
145	11	75/60/22	600	1600	4,96	1406	3078
145	11	75/60/22	600	1600	4,96	1406	3078
146	33	75/60/20	600	1400	12,18	3122	6309
146	33	75/60/20	600	1400	12,18	3122	6309

Místnost	Typ tělesa	Spád	Výška [mm]	Šířka [mm]	Objem [l]	Výkon OT [W]	Cena [Kč]
146	33	75/60/20	600	1400	12,18	3122	6309
146	33	75/60/20	600	1400	12,18	3122	6309
148	21	75/60/15	600	1400	8,12	1915	3790
201	11	75/60/20	600	1400	4,34	1303	2800
202	11	75/60/20	600	1200	3,72	1116	2523
204	10	75/60/20	600	1400	4,34	787	1758
204	10	75/60/20	600	1400	4,34	787	1758
205	11	75/60/20	600	400	1,24	372	1409
206	22	75/60/24	600	700	4,06	967	2740
209	22	75/60/24	600	600	3,48	829	2519
210	10	75/60/15	400	400	0,92	179	681
211	10	75/60/20	600	1400	4,34	787	1758
211	10	75/60/20	600	1400	4,34	787	1758
213	11	75/60/15	600	1400	4,34	1489	2800
215	21	75/60/20	600	1600	9,28	1912	4159
215	21	75/60/20	600	1600	8,12	1912	4159
215	21	75/60/20	600	1600	8,12	1912	4159
215	21	75/60/20	600	1600	8,12	1912	4159
216	21	75/60/20	600	1400	8,12	1673	3790
216	21	75/60/20	600	1400	8,12	1673	3790
218	22	75/60/20	600	1800	10,44	2803	5192
218	22	75/60/20	600	1800	10,44	2803	5192
218	22	75/60/20	600	1800	10,44	2803	5192
218	22	75/60/20	600	1800	10,44	2803	5192
222	10	75/60/15	600	800	2,48	512	1205
223	11	75/60/15	600	400	1,24	426	1409
224	11	75/60/15	600	500	1,55	532	1549
226	11	75/60/15	600	400	1,24	426	1409
227	11	75/60/20	600	1200	3,72	1116	2523
228	10	75/60/15	600	1100	3,41	704	1482
231	11	75/60/20	600	1400	4,34	1303	2800
232	11	75/60/20	600	1400	4,34	1303	2800
233	11	75/60/20	600	1400	4,34	1303	2800
233	11	75/60/20	600	1400	4,34	1303	2800
234	22	75/60/20	600	1800	10,44	2803	5192

249193