

Integrovaný systém techniky prostředí v rekonstrované budově rodinného domu

Bc. Ondřej Juríček

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej Juríček**
Osobní číslo: **A13454**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Integrované systémy v budovách**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Integrovaný systém techniky prostředí v rekonstruované budově rodinného domu**
Téma anglicky: **Integrated System HVAC in Refurbished Family House**

Zásady pro vypracování:

1. Popište řešení energeticky úsporných rodinných domů s téměř nulovou spotřebou vstupní energie z hlediska stavební fyziky, spotřeby energie, řešení tvorby mikroklimatu, osvětlení, akustických problémů a možnosti využití obnovitelných zdrojů energie.
2. Na základě výše uvedené analýzy popište požadavky na zařízení techniky prostředí.
3. Pro konkrétní budovu ověřte její tepelně technické parametry a navrhnete úpravy.
4. Navrhnete vhodný systém techniky prostředí s možností využití obnovitelných zdrojů energie.
5. Navrhnete vhodný řídicí a monitorovací systém, včetně EPS a PZTS.
6. Zvažte možnost využití fotovoltaických panelů a proveďte jejich technicko-ekonomické hodnocení.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. CHYSKÝ, J., HEMZAL, K. a kol.: Větrání a klimatizace. Technický průvodce. ČMT Praha 1993. ISBN 80-901574-0-8
2. VALENTA, V. a kol.: TOPENÁŘSKÁ PŘÍRUČKA 1, 2, 3. Agentura ČSTZ, Praha 2007. ISBN 978-80-86028-13-2
3. LABOUTKA, K., SUCHÁNEK, T.: Výpočtové tabulky pro vytápění. Vztahy a pomůcky. Vydavatelství společnosti pro techniku prostředí Praha, 2001. ISBN 80-02-01466-9
4. Platné ČSN řada 06, 07, 34, 35, 36, 37, 38, 73, 74, 83, 91.
5. KŘEČEK, S. a kol.: Příručka zabezpečovací techniky. Cricetus, 2003. ISBN 80-902938-2-4
6. MERZ, H., HANSEMAN, T., HUBNER, C.: Automatizované systémy budov. GRADA 2007. ISBN 978-80-247-2367-9
7. CIHELKA, J. a kol. Vytápění, větrání a klimatizace. SNTL Praha, 1985.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Zálešák, CSc.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce:

27. února 2015

Termín odevzdání diplomové práce:

20. května 2015

Ve Zlíně dne 27. února 2015

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



L.S.

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

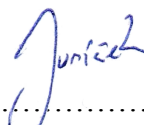
Prohlašuji, že

- 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 připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- 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/bakalářské 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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem integrovaného systému v rodinném domě. Celý systém je navržen pro co nejvyšší úsporu energií. Zavedením tohoto systému dochází ke zvýšení komfortu obývaného objektu. Do jisté míry se jedná o automatizaci procesů v domě. Systém vytápění a přípravy teplé vody je navržen s ohledem na vnější a vnitřní podmínky. Součástí diplomové práce je i návrh silnoproudé elektroinstalace a inteligentní elektroinstalace KNX. Celý dům je chráněn zabezpečovacím systémem a ve vybraných místnostech požárními hlásiči. Pro zvýšení komfortu je pro všechny systémy navržen vizualizační systém SCADA.

Klíčová slova: vytápění, příprava teplé vody, inteligentní elektroinstalace, zabezpečovací systém, KNX, SCADA, tepelné ztráty, solární systém, fotovoltaický systém, okrajové podmínky, vizualizace.

ABSTRACT

A diploma thesis describes the design of an integrated system in a family house. This system is designed to maximize energy savings. The system also increases the comfort of building. In some cases we can call it as automation in family house. Heating and prepare of hot water is designed by the external and internal conditions. Diploma thesis also describes electrical wiring and intelligent KNX system. The whole house is protected by a security system in selected rooms by fire alarms. To increase comfort there is designed SCADA visualization system.

Keywords: heating, prepare of hot water, intelligent electrical instalation, security system, KNX, SCADA, heat loss, solar system, photovoltaic system, boundary conditions, visualization.

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Martinu Zálešákovi, CSc. za odborné vedení, rady a pomoc nejen při tvorbě diplomové práce, ale i v průběhu celého studia.

Dále bych rád poděkoval své rodině, která mě morálně i finančně podporovala po celou dobu studia.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 ENERGETICKY ÚSPORNÉ DOMY	12
1.1 NÍZKOENERGETICKÝ DŮM	12
1.2 PASIVNÍ DŮM.....	13
1.3 DŮM S TĚMĚŘ NULOVOU SPOTŘEBOU	14
2 POŽADAVKY NA VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ.....	16
2.1 TEPELNÁ POHODA	16
2.1.1 Operativní teplota.....	16
2.1.2 Proudění vzduchu.....	17
2.1.3 Relativní vlhkost vzduchu.....	17
2.1.4 Parametry tepelné pohody.....	17
2.2 HYGIENICKÉ PARAMETRY	19
2.2.1 Výměna vzduchu.....	19
2.2.2 Koncentrace škodlivin.....	20
2.3 OSVĚTLENÍ.....	20
2.4 AKUSTIKA	21
3 VNĚJŠÍ KLIMATICKÉ PODMÍNKY	22
3.1 TLAK VZDUCHU.....	22
3.2 ZMĚNA TLAKU VZDUCHU S NADMOŘSKOU VÝŠKOU	22
3.3 PLYNOVÉ SLOŽKY VZDUCHU	22
3.4 TEPLOTA VZDUCHU	23
3.4.1 Zimní období.....	23
3.4.2 Letní období	24
3.5 VÍTR.....	24
3.6 SLUNEČNÍ GEOMETRIE A SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ.....	25
3.6.1 Solární konstanta.....	25
3.6.2 Přímé sluneční sálání.....	25
3.6.3 Difuzní sluneční sálání.....	27
4 STAVEBNÍ FYZIKA	28
4.1 ŠÍŘENÍ TEPLA KONSTRUKCÍ	28
4.1.1 Součinitel prostupu tepla.....	28
4.1.2 Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce	30
4.2 ŠÍŘENÍ VLHKOSTI KONSTRUKCÍ	30
4.2.1 Kondenzace vodní páry v konstrukci.....	30
4.2.2 Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry	31
4.3 TEPELNÉ ZTRÁTY	31
4.3.1 Tepelná ztráta prostupem	32
4.3.2 Tepelná ztráta větráním.....	34
5 VHODNÉ ZDROJE TEPELNÉ A ELEKTRICKÉ ENERGIE	36

5.1	TEPELNÉ ČERPADLO	36
5.1.1	Vzduch – voda.....	37
5.1.2	Země – voda.....	37
5.1.3	Voda – voda	38
5.2	SOLÁRNÍ KOLEKTORY.....	38
5.3	FOTOVOLTAICKÉ PANELY	38
5.3.1	Fotovoltaické systémy.....	39
6	SBĚRNICOVÝ SYSTÉM KNX.....	40
6.1	ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA	40
6.2	PŘENOSOVÁ MEDIA	41
6.3	KOMUNIKACE NA SBĚRNICI	41
II	PRAKTICKÁ ČÁST	42
7	POPIS OBJEKTU	43
7.1	OKRAJOVÉ PODMÍNKY	49
7.2	POSOUZENÍ PLÁŠTĚ BUDOVY	49
8	TEPELNÉ ZTRÁTY A ZISKY	52
8.1	ÚPRAVY KONSTRUKCÍ	54
8.2	ENERGETICKÝ ŠTÍTEK BUDOVY	55
8.3	TEPELNÁ STABILITA V LETNÍM OBDOBÍ	56
9	NÁVRH SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY	57
9.1	TEPELNÉ ZTRÁTY JEDNOTLIVÝCH MÍSTNOSTÍ	57
9.2	HYDRAULICKÉ ZAPOJENÍ.....	58
9.2.1	Tepelné čerpadlo	59
9.2.2	Další použité zařízení hydraulického zapojení	60
9.2.3	Otopná tělesa	60
9.2.4	Výpočet nastavení regulačního ventilu a šroubení.....	61
9.3	PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY.....	65
9.3.1	Výpočet parametru pro přípravu TV	65
9.3.2	Návrh solárních kolektorů.....	66
9.4	ZABEZPEČOVACÍ ZAŘÍZENÍ.....	70
9.4.1	Okruh solárního ohřevu.....	71
9.4.2	Okruh vytápění.....	72
9.5	ŘÍZENÍ VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVY TV.....	74
9.5.1	Řízení vytápění a přípravy TV	75
10	NÁVRH SILNOPROUDÉ ELEKTROINSTALACE.....	77
10.1	NÁVRH HLAVNÍHO JISTIČE.....	77
10.2	ZÁSUVKOVÉ A SVĚTELNÉ OBVODY	78
10.2.1	Hlavní domovní rozvaděč	79
10.2.2	Podružný domovní rozvaděč.....	81
10.2.3	Zapojení jednotlivých pater.....	82
11	INTELIGENTNÍ ELEKTROINSTALACE	85

11.1	POŽADAVKY NA ŘÍDICÍ SYSTÉM.....	85
11.2	POPIS ŘEŠENÍ.....	86
11.2.1	Prvky systému	86
11.2.2	Řešení 1NP.....	86
11.2.3	Řešení podkroví	87
12	PZTS A EPS.....	88
13	VIZUALIZACE.....	91
13.1	TECHNOLOGIE	91
13.2	OSVĚTLENÍ.....	92
13.3	PZTS A EPS.....	92
14	FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM.....	94
14.1	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	95
15	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	98
15.1	ZHODNOCENÍ VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVY TV	98
15.2	CELKOVÉ NÁKLADY NA PROJEKT	100
	ZÁVĚR	101
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	103
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	107
	SEZNAM OBRÁZKŮ	109
	SEZNAM TABULEK.....	110
	SEZNAM PŘÍLOH.....	113

ÚVOD

V současnosti se setkáváme s využíváním tzv. inteligentních systémů téměř ve všech odvětvích, které si jen můžeme představit. V letech minulých se využívaly především v průmyslu, administrativních budovách, obchodních centrech či jinak využívaných komerčních budovách. Trendem v současnosti je ovšem snížení energetických nároků i u rodinných domů. Tyto systémy kromě snižování nákladů na provoz domu současně zvyšují komfort a životní standard. Na trhu je velké množství technologií, které lze využít, a proto je projektant nucen znát širokou škálu těchto systémů a zvolit pro daný projekt vhodné technologie.

Pokud je tedy řeč o integraci systémů do budov, mluvíme o inteligentní budově. Tento pojem snaha až do osmdesátých let minulého století. První takové budovy byly založeny především na automatizaci, ale později se integrovala schopnost budovy reagovat na měnící se podmínky. V současné době inteligentní budovy nabízí nejen úsporu energie a zvýšení komfortu, ale také možnost reagovat na měnící se potřeby jejich uživatelů.

Inteligentní budova je obvykle ovládaná centrálně pomocí dotykového panelu, kde běží vizualizace všech systémů instalovaných v domě. Rovněž je možné upravovat parametry běžícího systému budovy vzdáleně pomocí webového rozhraní. Zabezpečovací systémy v dnešní době běžně umožňují zasílat SMS pomocí GMS sítě, aby upozornili majitele na nepovolené vniknutí do objektu, případně na vznik požáru. Regulace technologií je navržena co nejefektivněji, aby nedocházelo ke snížení kvality vnitřního prostředí a současně pro dosažení co nejlepších ekonomických výsledků.

V diplomové práci navrhuji systémy techniky prostředí pro budovu rodinného domu, ve které se budu snažit o dosažení nejlepších ekonomických výsledků z hlediska investice do systému a ekonomické návratnosti při současném ohledu na ekologickou stránku. Nedílnou součástí je navržení silnoproudé elektroinstalace a inteligentní elektroinstalace pro zvýšení komfortu v domě.

Výstupem práce by měl být plně využitelný projekt, který klade důraz na požadavky investora a je navržen v souladu s platnou legislativou České republiky a Evropské Unie.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ENERGETICKY ÚSPORNÉ DOMY

Energeticky úsporné budovy můžeme popsat tak, že se jedná o budovy, pro jejichž provoz je potřeba minimum energie. Pokud uvažujeme o domě s minimální energetickou spotřebou, můžeme tedy mluvit o budovách, které jsou na provoz ekonomicky výhodné. Abychom dosáhli energetické úspory, musí být budova navržena tak, aby docházelo k co nejmenším tepelným ztrátám, energeticky výhodnému vytápění, přípravě teplé vody, chlazení a větrání. Rovněž se snažíme dosáhnout nízké spotřeby vody a elektrické energie. Pro investora je také velmi důležitá velikost investice do nízkoenergetického domu a jeho případná návratnost. Spousta investorů si myslí, že návratnost investic v podobě úspory energie je záležitostí padesáti a více let. Pokud je ovšem dům navržen tak, aby byla jeho spotřeba skutečně minimální, a současně je projektován takovým způsobem, aby investiční náklady nebyly přehnané, lze dosáhnout velmi uspokojivých ekonomických výsledků.

1.1 Nízkoenergetický dům

Nízkoenergetické domy jsou definovány v normě ČSN 73 0540-2. Jedná se o budovy s nízkou spotřebou tepla na vytápění. Abychom dosáhli nízké spotřeby tepla na vytápění, je potřeba věnovat pozornost stavební fyzice a to konkrétně řešení obálky budovy. Za nízkoenergetickou budovu lze považovat budovu, jejíž průměrný součinitel prostupu tepla nepřekračuje doporučenou hodnotu podle tabulky (Tab. 1) a současně měrná potřeba tepla nepřekračuje 50 kWh/(m² rok). Hodnocení lze provádět pouze pro budovy s převažující návrhovou teplotou 18°C až 22°C. [1]

Tab. 1: Požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou intervalu 18°C až 22°C. [1]

	Požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla $U_{em,N,20}$ [W/(m ² K)]
Nové obytné budovy	0,5
Ostatní budovy	<p>Nejvýše pro objemový faktor tvaru:</p> $A/V \leq 0,2 \quad U_{em,N,20} = 1,05$ $A/V > 1,0 \quad U_{em,N,20} = 0,45$ Pro ostatní hodnoty A/V $U_{em,N,20} = 0,30 + 0,15/(A/V)$

1.2 Pasivní dům

Pasivní budova je rovněž definována v normě ČSN 73 0540-2. Jedná se o budovy, jejichž charakteristikou je minimální potřeba energie na zajištění vnitřního prostředí a minimalizovanou potřebu primární energie z neobnovitelných zdrojů. Snažíme se dostat do stavu optimalizovaného stavebního řešení.

Při řešení pasivních domů se musí hodnotit také celková průvzdušnost obálky budovy. Tuto průvzdušnost řeší norma ČSN EN 13829 a TNI 73 0329, TNI 73 0330.

Požadavky na pasivní dům jsou uvedeny v tabulce (Tab. 2). Do hodnocení primární energie musíme ovšem také zahrnout roční energetické potřeby podle tabulky (Tab. 3). [1]

Tab. 2: Základní vlastnosti pasivních budov [1]

		Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m ² K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² a)]	Měrná potřeba energie na chlazení [kWh/(m ² a)]	Měrná potřeba primární energie [kWh/(m ² a)]
Obytná budova	Rodinný dům	≤ 0,25 požadováno ≤ 0,20 doporučeno	≤ 0,20 požadováno ≤ 0,15 doporučeno	0 ²⁾	≤ 60
	Bytový dům	≤ 0,35 požadováno ≤ 0,30 doporučeno	≤ 15	0 ²⁾	≤ 60
Neobytná budova s převažující teplo- tou 18°C -20°C		≤ 0,35 ¹⁾	≤ 15	≤ 15	≤ 120
Ostatní budovy		Požadavky stanoveny individuálně s využitím aktuálních poznatků odborné literatury			≤ 120
POZNÁMKY:					
¹⁾ Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě $U_{em,rec} = 0,75 \cdot U_{em,N}$, kde $U_{em,rec}$ je doporučená hodnota průměrného součinitele prostupu tepla a $U_{em,N}$ požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla.					
²⁾ Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné. Pokud by výjimečně bylo dodatečně použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče.					

Tab. 3: Přehled energetických potřeb zahrnutých do hodnocení primární energie pasivních budov – hodnotí se položky označené X [1]

	Obytné budovy	Neobytné budovy
Vytápění	X	X
Chlazení a úprava vlhkosti	- ¹⁾	X
Příprava teplé vody	X	X
Pomocná elektrická energie na provoz energetických systémů budovy	X	X
Elektrické spotřebiče a umělé osvětlení	-	-
¹⁾ Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné. Pokud by výjimečně bylo (dodatečně) použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče.		

1.3 Dům s téměř nulovou spotřebou

U budov s téměř nulovou energetickou spotřebou se snažíme pokrýt většinu spotřeby domu pomocí obnovitelných zdrojů. Tyto domy se hodnotí pomocí roční bilance energetických potřeb a energetické produkce v budově a jejím okolí. U tohoto typu budov je výhodné, aby stavební řešení a technická zařízení budovy byla navržena takovým způsobem, že odpovídají standardu pasivní budovy.

Jsou stanoveny dvě úrovně hodnocení:

Úroveň A – do energetických potřeb budovy se zahrne potřeba tepla na vytápění, potřeba energie na chlazení, energie na přípravu teplé vody, pomocná elektrická energie na provoz elektrických systémů budovy, elektrická energie na umělé osvětlení a elektrické spotřebiče

Úroveň B – je stejná jako A, ale bez zahrnutí elektrické energie na elektrické spotřebiče.

[1]

Tab. 4: Základní požadavky na energeticky nulové budovy [1]

Závaznost kritéria		Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota podle zvolené úrovně hodnocení	
		Průměrný součinitel prostupu tepla	Průměrná potřeba tepla na vytápění	Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů	
				Úroveň A	Úroveň B
Obytné budovy	Nulový	RD ≤ 0,25 BD ≤ 0,35	RD ≤ 20 BD ≤ 15	0	0
	Blízký nulovému			80	30
Neobytné budovy ²⁾	Nulový	≤ 0,35 ¹⁾	≤ 30	0	0
	Blízký nulovému			120	90

¹⁾ Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě $U_{em,rec} = 0,75 \cdot U_{em,N}$, kde $U_{em,rec}$ je doporučená hodnota průměrného součinitele prostupu tepla a $U_{em,N}$ požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla.

²⁾ Neobytné budovy s převažující navrhovanou vnitřní teplotou 18°C až 22°C včetně. Pro jiné budovy není stanoveno.

RD – rodinné domy, BD – bytové domy.

Tab. 5: Přehled energetických potřeb zahrnutých do hodnocení primární energie energeticky nulové budovy – hodnotí se položky označené X [1]

	Obytné budovy		Neobytné budovy	
	Úroveň A	Úroveň B	Úroveň A	Úroveň B
Vytápění	X	X	X	X
Chlazení a úprava vlhkosti	- ¹⁾	- ¹⁾	X	X
Příprava teplé vody	X	X		X
Pomocná elektrická energie na provoz energetických systémů budovy	X	X	X	X
Umělé osvětlení	X	X	X ²⁾	X ²⁾
Elektrické spotřebiče a umělé osvětlení	X	-	X	-
¹⁾ Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné. Pokud by výjimečně bylo (dodatečně) použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče. ²⁾ Záměrně odlišné od hodnocení pasivních neobytných budov.				

2 POŽADAVKY NA VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ

V této kapitole se budu zabývat požadavky na vnitřní prostředí, které má velký vliv na užívání samotné budovy, ať už se jedná o zdraví člověka, které je vždy na prvním místě, nebo o jistý komfort. Z hlediska vnitřního prostředí musíme zohledňovat celou řadu fyzikálních, chemických a biologických faktorů. Nejdůležitějšími parametry, které sledujeme, jsou proudění vzduchu, vlhkost, teplota vzduchu, koncentrace škodlivých látek, hluk, prašnost, osvětlení a jiné.

2.1 Tepelná pohoda

Za tepelnou pohodu považujeme tepelný pocit člověka. Jedná se do jisté míry o komfort, který zaručuje kvalitní životní podmínky. Tepelná pohoda je ovlivněna oděvem, tělesnou činností a environmentálními charakteristikami (teplota vzduchu, střední radiační teplota, vlhkost vzduchu, a rychlost proudění).

2.1.1 Operativní teplota

Toto hodnotící kritérium v sobě zahrnuje vliv sdílení tepla radiací a konvekcí. Abychom stanovili operativní teplotu pomocí měření ve skutečném prostředí, musíme změřit radiační teplotu, teplotu vzduchu a rychlost proudění vzduchu. Operativní teplotu můžeme vypočítat pomocí vztahu (1). Pokud je rychlost proudění vzduchu menší než 0,2m/s můžeme operativní teplotu určit měřením pomocí kulového teploměru. [2]

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

Kde: θ_o – operativní teplota [°C],

A – koeficient závislý na rychlosti proudění,

θ_a – teplota vzduchu [°C],

θ_r – střední radiační teplota [°C].

Tab. 6: Závislost součinitele A na rychlosti proudění vzduchu

w_a [m/s]	<0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1
A [-]	0,5	0,53	0,6	0,65	0,7	1,75

2.1.2 Proudění vzduchu

K proudění vzduchu dochází vlivem rozdílů tlaků na dvou místech, což způsobuje to, že se vzduch pohybuje z místa o vyšším tlaku do místa s nižším tlakem. Abychom změřili rychlost proudění korektně, musíme zvolit vhodnou metodu podle rychlosti proudění. V našich podmínkách je rychlost proudění většinou nízká ($0,05 - 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Měření ovšem negativně ovlivňuje to, že vzduch se v prostoru pohybuje turbulentně, a proto musíme měřit rychlost proudění vzduchu delší časový interval, abychom určili střední hodnotu. Člověk vnímá proudění v místnosti negativně, především pokud má vzduch nižší teplotu. Pro teploty $19 - 21^\circ\text{C}$ je přípustné aby vzduch proudil maximálně rychlostí $0,2 \text{ m/s}$. Při teplotě 26°C je potom nejvyšší dovolená rychlost $0,4 \text{ m/s}$. Nad tyto hodnoty už člověk toto proudění vnímá jako průvan. [3][4]

2.1.3 Relativní vlhkost vzduchu

Relativní vlhkost udává poměr mezi množstvím páry obsažené ve vzduchu ku maximálnímu množství vodní páry, kterou je vzduch schopen pojmout o stejné teplotě a tlaku. Relativní vlhkost by se měla pohybovat mezi 20% a 70% přičemž ideálně je 50%. V případě dosažení dolní hranice může docházet ke zvýšení prašnosti. Překročení horní hranice způsobuje pocit takzvaného dusna a zvyšuje riziko kondenzace na površích s nižší teplotou, což může mít za následek uchycení plísně. [5]

$$\varphi = 100 \cdot \frac{m}{M} \quad (2)$$

Kde: φ – relativní vlhkost vzduchu [%],

m – hmotnost vodní páry [g/m^3],

M – hmotnost vodní páry při plném nasycení při stejné teplotě a tlaku [g/m^3].

2.1.4 Parametry tepelné pohody

Výpočet parametrů tepelné pohody vychází především z tepelné bilance člověka. Z této bilance je odvozená rovnice (3) pro výpočet středního tepelného pocitu **PMV**.

$$\text{PMV} = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot L \quad (3)$$

Kde: M – energetický výdej člověka [W],

L – rozdíl energetického výdeje a tepla odevzdaného bez mokrého pocení [W].

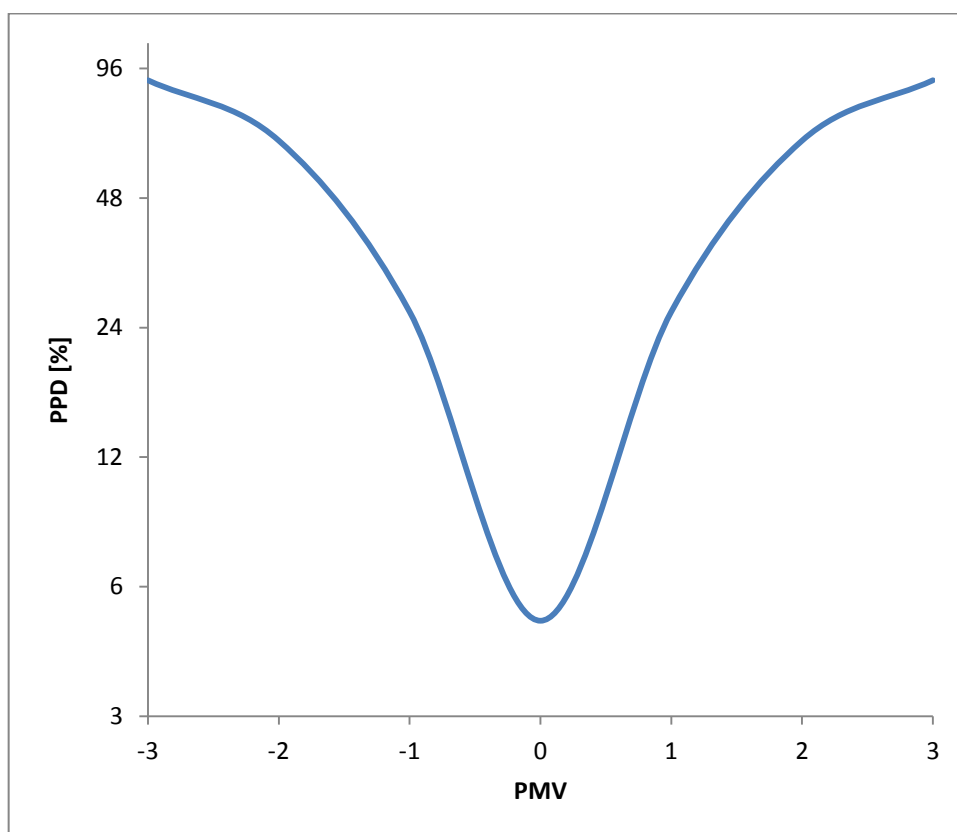
V parametru M je zahrnuta energetická náročnost aktivity, kterou člověk v daném prostředí vykonává. Parametr L potom zahrnuje hodnotící veličiny (operativní teplota, vlhkost, rychlost proudění vzduchu). Stupnice indexu PMV je uveden v tabulce (Tab. 7). [5]

Tab. 7: Stupnice indexu PMV

Tepelný pocit	Horko	Teplo	Mírné teplo	Neutrální	Mírné chladno	Chladno	Zima
Index PMV	3	2	1	0	-1	-2	-3

Procentuální podíl nespokojených se vyjadřuje parametrem PPD . Tento parametr se vyhodnocuje na základě středního tepelného pocitu PMV .

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



Graf 1: Parametr PPD jako funkce PMV

2.2 Hygienické parametry

Protože lidé tráví 85 – 95% času v uzavřených prostorech je kladen důraz na kvalitu vnitřního prostředí. Z tohoto důvodu je nutné pravidelné a účinné větrání budov. Koncentrace chemických škodlivin uvnitř budovy jsou závislé na produkci škodlivin a na obsahu škodlivin ve větracím vzduchu. Ve větracím vzduchu z venkovního prostředí je obsažen SO_2 , NO_x , polycyklické aromatické uhlovodíky a CO.

2.2.1 Výměna vzduchu

Abychom zajistili kvalitu vzduchu ve vnitřním prostředí, musíme danou místnost či objekt větrat. Větrání můžeme rozdělit do dvou základních skupin a to přirozené a strojní. V dnešní době je kladen čím dál větší důraz na snížení energetického výdeje budov, a proto se začali používat takové výplňové otvory, které jsou velmi kvalitně utěsněny. Intenzita větrání vyjadřuje to, kolikrát se v místnosti vymění vzduch za hodinu a její výpočet je uveden v rovnici (5). Minimální množství přiváděného vzduchu je potom uvedeno v rovnici (6). [6][7]

$$n = \frac{\dot{V}_E}{V} \quad (5)$$

Kde: n – intenzita větrání [h^{-1}],

\dot{V}_E – objemový průtok větracího vzduchu [m^3/h],

V – vnitřní objem místnosti.

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}_{\text{škod}}}{k_I - k_A} \quad (6)$$

Kde: \dot{V} – minimální množství přiváděného vzduchu [m^3/h],

$\dot{m}_{\text{škod}}$ – hmotnostní tok vznikajících škodlivin [g/h],

k_I – koncentrace škodlivin odváděného vzduchu [g/m^3],

k_A – koncentrace škodlivin přiváděného vzduchu [g/m^3].

U bytových prostorů se běžně používají hodnoty $n=0,5$ pro obytné místnosti a $n=1,5$ pro kuchyně a koupelny. Dle Pettenkoferova normativu je výměna vzduchu v místnosti minimálně $25\text{m}^3/\text{h}$. [8]

2.2.2 Koncentrace škodlivin

Koncentraci škodlivin posuzujeme pomocí dvou indexů a to **NPK** a **PEL**.

- a) NPK – (nejvyšší přípustná koncentrace) jedná se koncentraci chemické látky, které nesmí být zaměstnanec vystaven v žádném úseku směny. Počítá se jako vážený průměr látky, měřený maximálně po dobu 15 minut. Vyšší koncentraci smí být vystaven zaměstnanec pouze čtyřikrát a to s odstupem minimálně jedné hodiny. [9]
- b) PEL – (přípustný expoziční limit) jedná se o vážený průměr koncentrací chemických látek v pracovních prostorech, kterým může být člověk trvale vystaven, aniž by došlo k poškození zdraví. Předpokladem je, že danou práci bude vykonávat celý život. [9]

Tab. 8: Vybrané hodnoty PEL a NPK

Látka	NPK		PEL	
	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm
Oxid dusný	360	199,8	180	99,9
Oxid uhličitý	45000	22905	9000	4581
Oxid uhelnatý	150	130,95	30	26,19
Oxid siřičitý	10	3,82	2	1,19
Oxidy dusíku	3	20	2	10
Formaldehyd	1	0,81	0,5	0,41

2.3 Osvětlení

Vnitřní prostory obvykle nejsou dostatečně osvětleny, a proto jsou osvětlovány i uměle. Osvětlení můžeme rozdělit do 3 základních typů:

- a) Umělé – jedná se o všechny elektrické zdroje světla, které v interiérech či exteriérech používáme (zářivky, žárovky, LED světla apod.).
- b) Přirozené osvětlení – jedná se o sluneční záření, které přímo či nepřímo dopadá do objektu.
- c) Kombinované osvětlení – kombinace obou předchozích typů osvětlení.

Většinou se snažíme co nejvíce využívat přirozené osvětlení, jelikož je lidskému oku nejpříjemnější a ušetříme výdaje za elektrickou energii. Špatné osvětlení může snižovat efektivitu práce člověka a velmi často vede k úrazu na pracovišti. Požadovaná úroveň

osvětlení není závislá na ročním období. Možnost využívání přirozeného osvětlení je ovlivněna několika parametry. Jedná se především o orientaci prosklených ploch, zeměpisnou polohu budovy, stínění a podobně. [10]

Tab. 9: Vybrané návrhové hodnoty osvětlení dle normy [10]

Typ budovy	Prostor	Udržovaná osvětlenost na pracovním místě E [lx]	Index hodnocení oslunění URG [-]	Index podání barev Ra [-]
Kancelářské budovy	Jednotlivé kanceláře	500	19	80
	Velkoplošné kanceláře	500	19	80
	Konferenční místnosti	500	19	80
Budovy pro vzdělání	Učebny	300	19	80
	Učebny pro dospělé	500	19	80
	Posluchárny	500	19	80

2.4 Akustika

Každý člověk je ovlivněn akustickými vlivy, jako je například hluk. Akustické podmínky běžně nemají vliv na energetickou náročnost budovy. U staveb se zabýváme především ochranou před hlukem z vnějšího prostředí. Abychom se proti hluku z vnějšího prostředí efektivně bránili, musíme zvolit patřičné stavební materiály, které zamezují nežádoucímu šíření hluku. Dalším zdrojem hluku v budovách můžou být technická zařízení nebo činnost člověka. Šíření zvuku dochází vzduchem nebo konstrukcemi. [11]

Hladina akustického tlaku je vyjádřena v decibelech. Lidské ucho není na všechny frekvence stejně citlivé, a proto se zavedl určitý filtr, který jednotlivým frekvenčním pásmům přiděluje váhu. U větracích zařízení musí být v projektové dokumentaci uvedeny i požadavky na hladiny akustického tlaku podle národních požadavků. [11]

Tab. 10: Vybrané návrhové hodnoty pro akustiku [11]

Budovy	Typ prostoru	Hladina akustického tlaku A [dB]	
		Typický rozsah	Standardní navrhovaná hodnota
Obytné budovy	Obývací pokoj	25 až 40	32
	Ložnice	20 až 35	26
Shromažďovací prostory	Posluchárny	30 až 35	33
Školy	Učebny	30 až 40	35

3 VNĚJŠÍ KLIMATICKÉ PODMÍNKY

3.1 Tlak vzduchu

Tlak vzduchu je síla, která působí v daném místě atmosféry na libovolně orientovanou plochu o velikosti 1 m^2 . Tento tlak je vyvoláván tíhou vzduchového sloupce, který působí na tuto plochu a to od zkoumaného místa (například hladiny moře) až po horní hranici atmosféry. Jednotka tlaku vzduchu je v Pascalech [Pa]. Atmosférický tlak ovlivňují různé vlivy, jako jsou teplota vzduchu, obsah vodní páry v atmosféře, nadmořská výška, zeměpisná šířka. Pro porovnávání se používá tlak na hladině moře, který je průměrně 101 325 Pa. [12]

3.2 Změna tlaku vzduchu s nadmořskou výškou

S přibývajícím nadmořskou výškou se tlak vzduchu snižuje. Změna tlaku vzduchu na 100m výšky udává takzvaný vertikální tlakový gradient. Tento gradient s přibývajícím nadmořskou výškou klesá a klesání se stále zpomaluje. Běžně se bere, že ve výšce 5500m tlak klesne na polovinu. [12]

Tlak vzduchu má při našich výpočtech poměrně malý význam. S běžným kolísáním tlaku se obvykle nepočítá. K přepočtu ovšem můžeme využít jednoduchý vztah:

$$p_2 = p_1 \frac{16000 - \Delta H}{16000 + \Delta H} \quad (7)$$

Kde: p_1, p_2 – tlaky v místech 1 a 2 [Pa],

ΔH – výškový rozdíl mezi místy 1 a 2 [m].

V České republice se pro běžnou nadmořskou výšku počítá s tlakem 98 100 Pa.

3.3 Plynové složky vzduchu

Vzdušný obal země má do výšky přibližně 20-30km stejné složení. Toto je způsobeno tím, že se v této vrstvě vzduch soustavně promíchává působením větru. Složení suchého vzduchu je mezinárodně normováno, protože je snaha sjednotit postupy při výpočtech. Je všeobecně známo a všeobecně se uvádí, že se vzduch skládá převážně z 78% dusíku, 21% kyslíku a 1% vzácných plynů. [13]

Pro tepelné technické výpočty se používá obvykle složení vzduchu v tabulce (Tab. 11).

Tab. 11: Složení vzduchu pro tepelné technické výpočty [13]

Plynná složka	Chemická značka	obsah složky dle:	
		objemu	hmotnosti
		%	%
Kyslík	O ₂	21	23
Dusík	N ₂	79	77
Poměr N ₂ : O ₂		3,76	3,33
Poměr vzduchu: O ₂		4,76	4,33

3.4 Teplota vzduchu

Teplota vzduchu je pro nás pravděpodobně nejdůležitější veličinou vnějšího prostředí. Jedná se o charakteristickou stavovou veličinu vzduchu příslušné oblasti. Teplota je velmi proměnlivá a mění se v průběhu dne. Je závislá na zeměpisné šířce, výšce a rovněž ji ovlivňuje nadmořská výška.

Pro Českou republiku bereme maximální denní teplotu v měsíci červenec měřenou přibližně v 16:00. Pro naše účely rozdělujeme teplotu na dvě období – letní a zimní.

Při návrhu otopné či klimatizační techniky můžeme rovněž využít statistické údaje z předchozích let o průměrných denních teplotách v různých místech České republiky. Tyto údaje zaznamenává a uchovává Český hydrometeorologický ústav.

3.4.1 Zimní období

V zimním období potřebujeme znát teplotu především z důvodu návrhu výkonu otopné soustavy. Zajímají nás především:

- Tepelné ztráty, které jsou ovlivněny vnější teplotou – dle normy ČSN EN 12831
- Stavební fyzika (součinitel prostupu tepla je ovlivněn rozdílem vnější a vnitřní teploty)
- Spotřeba energie – v zimním období se musí domy vytápět a je důležitá spotřeba energie z ekonomického a ekologického hlediska

Návrhovou teplotu pro různé oblasti v zimním období a zatížení větrem v krajině pro vybrané obce v České Republice najdeme v normě ČSN EN 700540 -3. Například pro Uherké hradiště se jedná o teplotní oblast 2 s návrhovou venkovní teplotou vzduchu v zimním období -15°C a zatížení větrem v krajině je zvýšené. [1]

3.4.2 Letní období

V letním období nás naopak zajímá vnější teplota z hlediska chlazení. Zajímáme se především o:

- Tepelnou stabilitu – zabezpečuje požadavek, aby byl její tepelný stav daném časovém průběhu v dovoleném rozmezí (maximální denní vzrůst teploty 27°C)
- Tepelné zisky – ohřívání budovy z vnějšího prostředí
- Výkon chladicího zařízení
- Průměrná denní teplota

Průměrná denní teplota se určí ze tří měření, které musí proběhnout v 7:00, 14:00 a 21:00.

$$\theta_{em} = \frac{\theta_7 + \theta_{14} + 2 \cdot \theta_{21}}{4} \quad (8)$$

3.5 VÍTR

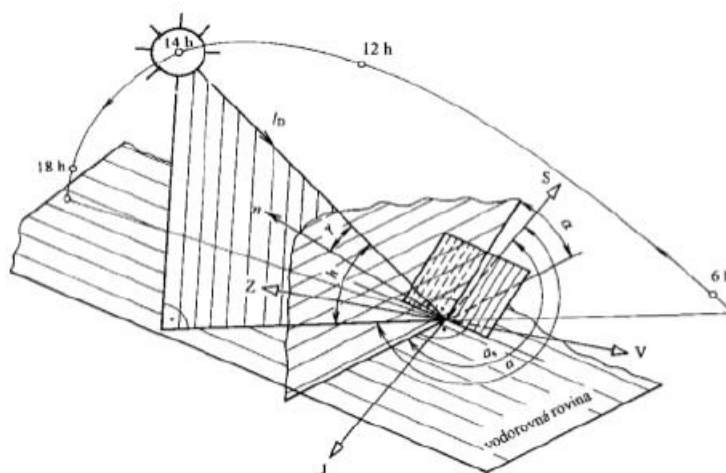
Vítr popisuje pohyb vzduchu v určitém místě atmosféry. Jako vítr uvažujeme pouze horizontální složku větru, která určuje směr a rychlost.

- a) Směr větru – jednoduše řečeno se jedná o směr, odkud vítr vane. Určuje se pomocí větrných směrovek, které se umísťují na stožár o výšce 10m, abychom mohli zanedbat vliv místních překážek a terénu. Bývá udáván v úhlových stupních: 90° = východní vítr, 180° = jižní vítr, 270° = západní vítr, 360° = severní vítr, 0° = bezvětrí.
- b) Rychlost větru – jedná se o vzdálenost, kterou vítr urazí za jednotku času. Rychlost větru se udává v metrech za sekundu a měří se pomocí anemometrů, které pracují na různých principech:
 - Mechanickém - větrem se roztáčí otočné miskové nebo vrtulové čidlo, jehož počet otáček za jednotku času je ve známé závislosti na rychlosti větru.
 - Aerodynamickém - rychlost větru se určí rozdílem mezi dynamickým tlakem ve speciálně konstruované aerodynamické trubici obtékané vzduchem a statickým tlakem v téže trubici za bezvětrí.
 - Zchlazovacím - čidlem anemometru je drát vyhřátý na vyšší teplotu než je teplota okolního vzduchu. Čím větší vítr, tím více se sníží teplota drátu. [14]

Vítr ovlivňuje především spotřebu tepla v místnostech. V případě, že fouká silný vítr, dochází k pronikání vnějšího vzduchu spárami a skulinami u oken a dveří. Průměrná rychlost větru v nižších oblastech ČR je okolo 3,5m/s. Ve vyšších polohách se pohybuje okolo 8m/s a rychleji.

3.6 Sluneční geometrie a sluneční záření

Slunce vysílá energii ve formě elektromagnetického záření. Toto záření po průchodu atmosférou dopadá na zemský povrch se spektrálním rozsahem $\lambda=280\div3000\text{nm}$ a viditelná část spektra je $\lambda=400\div800\text{nm}$. Nižší vlnové délky jsou v atmosféře pohlceny a tím pádem nedopadají na zemský povrch. V případě, že je zvýšený obsah prachových částic v atmosféře, tak dochází ke snížení energetického obsahu slunečního záření.



Obr. 1: Sluneční geometrie

3.6.1 Solární konstanta

Solární konstanta udává intenzitu slunečního záření v případě, že by Země neměla vzdušný obal. Tato konstanta je udávána ve wattech na metr čtvereční a její hodnota je $J_0=1360 \div 1380 \text{ W/m}^2$.

3.6.2 Přímé sluneční sálání

Jakmile vstoupí sluneční paprsek do atmosféry, začne intenzita slunečního záření klesat. Tento pokles je způsoben hned několika vlivy:

- a) Rozptylem paprsků – jedná se především o důsledek odrazu od molekul vzduchu, částec prachu apod.

- b) Absorpci – jedná se o interakci elektromagnetického záření s víceatomovými plyny (ozón, vodní páry, oxid uhličitý). Z tohoto důvodu se zavedl součinitel znečištění atmosféry z .

Tab. 12: Průměrné měsíční součinitele z [15]

Měsíc	Prostředí			
	Hory	Venkov	Města	Průmysl
Leden	1,5	2,1	3,1	4,1
Únor	1,6	2,2	3,2	4,3
Březen	1,8	2,5	3,5	4,7
Duben	1,9	2,9	4,0	5,3
Květen	2,0	3,2	4,2	5,5
Červen	2,3	3,4	4,3	5,7
Červenec	2,3	3,5	4,4	5,8
Srpen	2,3	3,3	4,3	5,7
Září	2,1	2,9	4,0	5,3
Říjen	1,8	2,6	3,6	4,9
Listopad	1,6	2,3	3,3	4,5
Prosinec	1,5	2,2	3,1	4,2
Roční průměr	1,89	2,76	3,75	5,00

Výpočet výšky slunce nad obzorem:

$$\sin h = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos((\tau - 12)15) \quad (9)$$

Kde: τ – čas ve 24 hodinovém formátu,

δ – sluneční deklinace.

Výpočet sluneční deklinace δ :

$$\delta = 23,45 \sin(0,98 D + 29,7 M - 109) \quad (10)$$

Kde: D – den v měsíci,

M – pořadí měsíce v roce.

Výpočet intenzity přímé sluneční radiace:

$$J_P = J_0 \cdot e^{-0,097 z (\sin h)^{0,8}} \quad (11)$$

Výpočet intenzity dopadu přímého slunečního záření na plochu pod úhlem γ :

$$J_{P\gamma} = J_P \cdot \cos \gamma \quad (12)$$

3.6.3 Difuzní sluneční sálání

Difuzní sluneční sálání je sluneční záření, které dopadá na povrch země (po odečtení vlivů rozptylu a absorpce). Z toho lze odvodit, že čím větší je znečištění ovzduší, tím menší je difuzní sluneční sálání a naopak.

Výpočet intenzity difuzní sluneční radiace:

$$J_D = [J_0 - J_P (1080 - 1,4 \cdot J_P) \cdot \sin^2 \left(\frac{\alpha}{2} \right)] \frac{\sin h}{3} \quad (13)$$

Kde: α – úhle mezi sledovanou plochou a vodorovnou rovinou [°].

Výpočet azimutu a :

$$\sin a = \sin((\tau - 12) \cdot 15) \frac{\cos \delta}{\cos h} \quad (14)$$

Výpočet úhlu dopadu slunečních paprsků ke kolmici osluněné plochy:

$$\cos \gamma = \sin h \cdot \cos \alpha + \cos h \sin \alpha \cos (a - a_s) \quad (15)$$

Pokud se jedná o svislou stěnu je úhel 90° , pak rovnici můžeme zjednodušit takto:

$$\cos \gamma = \cos h \cdot \cos(a - a_s) \quad (16)$$

Pokud se jedná o vodorovnou stěnu je úhel 0° , pak rovnici můžeme zjednodušit takto:

$$\cos \gamma = \sin h \quad (17)$$

Celková intenzita sluneční radiace se poté vypočte takto:

$$J = J_{P\gamma} + J_D \quad (18)$$

4 STAVEBNÍ FYZIKA

V kapitole stavební fyzika se budu zabývat šířením tepla a vlhkosti konstrukcemi. Tepelné technické parametry musíme dodržet, abychom předcházeli vzniku tepelně technických vad budovy, dodrželi tepelnou pohodu a v neposlední řadě aby nedocházelo k negativnímu ovlivnění zdraví osob a nezatěžovali nadměrně životní prostředí. [16]

4.1 Šíření tepla konstrukcí

V každé konstrukci dochází k šíření tepla. Z tohoto důvodu je pro úsporu energie velmi důležité snížit šíření tepla u ochlazovaných konstrukcí na co nejmenší míru. Šíření tepla u konstrukcí většinou popisujeme pomocí součinitele prostupu tepla, který v sobě zahrnuje přestupy tepla na obou stranách konstrukcí a vodivost jednotlivých vrstev konstrukce v závislosti na jejich tloušťce.

4.1.1 Součinitel prostupu tepla

Při hodnocení součinitele prostupu tepla postupujeme tak, že nejprve vypočítáme součinitel prostupu pro jednotlivé konstrukce, které porovnáme s hodnotou udávanou v normě. Dále také počítáme průměrný součinitel tepla, který musí splňovat normou stanovené meze. Výpočet součinitele prostupu tepla je uveden v rovnici (19). [1]

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_i} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_e}\right)} \quad (19)$$

Kde: U – součinitel prostupu tepla [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$],

h_i – přestup tepla na vnitřní straně stěny [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$],

h_e – přestup tepla na venkovní straně stěny [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$],

λ – tepelná vodivost [$\text{W}/(\text{m.K})$],

d – šířka konstrukce [m].

Součinitel prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce u vytápěných budov s návrhovou relativní vlhkostí $\phi_i \leq 60\%$ musí splňovat požadavky normy, které jsou uvedeny tabulce (Tab. 13). Tato hodnota se stanovuje na základě převažující návrhové teploty θ_{im} , která se u obytných domů pohybuje v rozmezí 18 °C až 22 °C.

$$U_N = U_{N,20} \cdot \frac{16}{\theta_{im} - 4} \quad (20)$$

Kde: U_N – požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$],

$U_{N,20}$ – součinitel prostupu tepla normy [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$],

θ_{im} – převažující vnitřní teplota [$^{\circ}\text{C}$]

Tab. 13: Vybrané požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro konstrukce s převažující vnitřní teplotou v rozmezí 18°C až 22°C [1]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30	těžká: 0,25	0,18 až 0,12
		lehká: 0,20	
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop a stěna vnitřní z vytápěného prostoru k nevytápěnému	0,6	0,4	0,3 až 0,2
Stěna mezi sousedními budovami	1,05	0,7	0,5
Dveřní výplň otvorů z vytápěného do venkovního prostoru (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5	1,2	0,8 až 0,6

Průměrný součinitel prostupu tepla se stanovuje pro každý objekt individuálně metodou referenční budovy. Referenční budovou je myšlen imaginární objekt stejných rozměrů a stejného uspořádání jako objekt hodnoceny. Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla referenční budovy vychází z rovnice (21) a jedná se vážený průměr požadovaných hodnot. [1]

$$U_{em,N,20} = \frac{\sum U_{Nj} * A_j * b_j}{\sum A_j} + 0,02 \quad (21)$$

Kde: U_{Nj} – normou požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla j-té konstrukce [W/(m² K)],

A_j – plocha j-té konstrukce stanovená z vnějších rozměrů [m²],

b_j – teplotní redukční činitel odpovídající j-té konstrukce.

4.1.2 Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce

Vnitřní povrchová teplota θ_{si} se hodnotí v poměrovém tvaru jako teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} , který je jednoznačnou vlastností konstrukce (nebo styků konstrukcí v určitém místě) a je nezávislý na teplotách přilehlých prostředí. [1]

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_{ai} - \theta_e} \quad (22)$$

Kde: f_{Rsi} – faktor vnitřního povrchu [-],

θ_{si} – vnitřní povrchová teplota [K],

θ_e – teplota venkovního vzduchu [K],

θ_{ai} – návrhová teplota venkovního vzduchu [K].

V zimním období je nezbytné, aby konstrukce splňovala podmínku $f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N}$ v každém místě konstrukce kde musí být splněna hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu $f_{Rsi,N}$. [1]

4.2 Šíření vlhkosti konstrukcí

Vlhkost se šíří všemi konstrukcemi difuzí. V případě, že dochází ke kondenzaci vodní páry v konstrukci, může dojít například ke snížení pevnosti materiálu nebo k tvorbě plísní. Z těchto důvodů sledujeme při posuzování budovy z hlediska stavební fyziky, co se šíření vlhkosti v konstrukci týká, především zda-li kondenzuje vodní pára v konstrukci a ve kterém místě, ale rovněž sledujeme roční bilanci zkondenzované vodní páry.

4.2.1 Kondenzace vodní páry v konstrukci

Konstrukce můžeme v zásadě rozdělit na ty, u kterých by vlivem kondenzace vodní páry došlo k poškození její funkce a na ty u kterých k takovému poškození nedojde. U prvně

zmiňované konstrukce nesmí docházet ke kondenzaci v žádném místě konstrukce. U konstrukcí, kde může docházet ke kondenzaci vodní páry, omezujeme její maximální množství. Konstrukce s objemovou hmotností větší než 100kg/m^3 se používají 3% plošné hmotnosti, u materiálu s hodnotou nižší nebo rovnu 100kg/m^3 to je 6% plošné hmotnosti. U konstrukcí se zabudovanými dřevěnými prvky a s vnějším tepelně izolačním systémem je tato hodnota $M_{e,N} = 0,1 \text{ kg/ (m}^2\text{a)}$. Pro ostatní konstrukce platí, že hodnota maximálního množství zkondenzované vodní páry $M_{e,N} = 0,5 \text{ kg/ (m}^2\text{a)}$. [1]

4.2.2 Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry

V roční bilanci zkondenzované a vypařené vodní páry musíme dojít k výsledku, že množství vypařené vodní páry je větší než množství zkondenzované. Toto pravidlo musí být dodrženo, aby se voda v konstrukci nehromadila a nedocházelo k tvorbě plísni případně k narušení pevnosti. [1]

4.3 Tepelné ztráty

Tepelnou ztrátu budovy dělíme na část ztrát prostupem tepla a na tepelné ztráty vlivem větrání. Abychom mohli vhodně zvolit vytápěcí systém, musíme tepelné ztráty vypočítat a to pro extrémní podmínky. Výpočet tepelných ztrát je upraven v normě ČSN-EN 12831. [17]

Celkovou navrhovanou ztrátu vytápěného prostoru vypočítáme podle vzorce (23).

$$\Phi = \sum \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad (23)$$

Kde: Φ = celková navrhovaná tepelná ztráta [W],

$\Phi_{T,i}$ – navrhovaná tepelná ztráta prostupem i-tého prostoru [W],

$\Phi_{V,i}$ – navrhovaná tepelná ztráta větráním i-tého prostoru [W].

4.3.1 Tepelná ztráta prostupem

Navrhovaná tepelná ztráta prostupem tepla i-tého prostoru se vypočítá pomocí vzorce (24).

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (24)$$

Kde: $\Phi_{T,i}$ – navrhovaná tepelná ztráta prostupem i-tého prostoru [W],

$H_{T,je}$ – 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 prostupem z vytápěného prostoru (i) do prostoru (j) vytápěného na jinou teplotu [W/K],

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

θ_e – výpočtová venkovní teplota [°C].

a) Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí

$$H_{T,je} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_I \Psi_I \cdot l_I \cdot e_I \quad (25)$$

Kde: A_k – je plocha stavební části (t) [m²],

e_k, e_I – korekční činitel vystavení povětrnostním vlivům při uvažování klimatických jevů jako je různé oslunění, pohlcování vlhkosti stavebními díly, rychlost větru a teplota, pokud tyto vlivy nebyly uvažovány při stanovení součinitele prostupu tepla U,

U_k – součinitel prostupu tepla stavební části (k) [W/(m²K)]

L_I – délka lineárních tepelných mostů (I) mezi vnitřním a venkovním prostředím [m],

Ψ_I – činitel lineárního prostupu tepla lunárního tepelného mostu (I) [W/(mK)].

b) Tepelná ztráty nevytápěným prostorem

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_k + \sum_l \Psi_l \cdot l_l \cdot b_l \quad (26)$$

Kde: b_u – teplotní redukční činitel zahrnující rozdíl mezi teplotou nevytápěného prostoru a venkovní návrhové teploty

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (27)$$

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

θ_e – výpočtová venkovní teplota [°C],

θ_u – výpočtová venkovní teplota [°C].

c) Tepelné ztráty do přilehlé zeminy

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_w \quad (28)$$

Kde: f_{g1} – je korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty. Tato hodnota je určena jako národní. Nejsou-li stanoveny národní hodnoty, použije se základní hodnota $f_{g1}=1,45$,

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

A_k – je plocha stavební části (t) [m²],

$U_{equiv,k}$ – ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části (k), stanoven podle typologie podlahy [W/(m² K)],

G_w – korekční činitel zohledňující vliv spodní vody. Tento vliv se musí uvažovat, je-li vzdálenost mezi předpokládanou vodní hladinou spodní vody a úrovní podlahy podzemního podlaží menší než 1 m.

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} + \theta_e} \quad (29)$$

d) Tepelné ztráty do nebo z vytápěných prostorů při různých teplotách

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{i,j} \cdot A_k \cdot U_k \quad (30)$$

Kde: $f_{i,j}$ – je redukční teplotní činitel. Činitel koriguje teplotní rozdíl mezi teplotou sousedního prostoru a venkovní výpočtové teploty,

A_k – je plocha stavební části (t) [m²],

U_k – součinitel prostupu tepla stavební části (k) [W/m² K].

Výpočet redukčního teplotního činitele:

$$f_{ij} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{vytápěného\ sousedního\ prostoru}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (31)$$

4.3.2 Tepelná ztráta větráním

Navrhovaná tepelná ztráta větráním se vypočítá pomocí rovnice (32).

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (32)$$

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

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

θ_e – výpočtová venkovní teplota [°C].

Součinitel návrhové tepelné ztráty vytápěného prostoru se vypočítá pomocí rovnice (33).

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \cdot \rho \cdot c_p \quad (33)$$

Kde: \dot{V}_i – objemový průtok větraného vzduchu [m³/h],

ρ – hustota vzduchu při teplotě $\theta_{int,i}$ [kg/m³],

c_p – měrná tepelná kapacita vzduchu při teplotě $\theta_{int,i}$ [kJ/(kg.K)]

U přirozeného větrání se \dot{V}_t určí podle vztahu (34).

$$\dot{V}_t = \max(\dot{V}_{inf,i} \cdot \dot{V}_{min,i}) \quad (34)$$

Kde: $\dot{V}_{inf,i}$ – maximum výměny vzduchu infiltrací [m^3/h],

$\dot{V}_{min,i}$ – minimální výměna vzduchu požadovaná z hygienických důvodů [m^3/h].

5 VHODNÉ ZDROJE TEPELNÉ A ELEKTRICKÉ ENERGIE

Pro zvolení vhodného typu zdroje tepla musíme sledovat několik různých parametrů. Jedním z těchto parametrů je to, zda se bude jednat o obnovitelný zdroj či o zdroj neobnovitelný. V posledních letech podíl obnovitelných zdrojů stoupá a to především díky stavbě nízkoenergetických budov, které využívají často jako zdroje tepla tepelná čerpadla, kotle na biomasu či solární panely.

5.1 Tepelné čerpadlo

Tepelná čerpadlo řadíme mezi obnovitelný zdroj díky principu jeho funkce. Principem je odebrání tepla z okolního prostředí a jeho následné převedení na vyšší teplotní hladinu.

Skladba tepelného čerpadla obsahuje zpravidla čtyři základní části. Jedná se o výparník, kompresor, expanzní ventil a kondenzátor. Princip funkce tepelného čerpadla můžeme rozdělit na 4 děje.

- a) Expanze – Při průchodu chladiva přes expanzní ventil dochází ke snížení tlaku (i teploty) a chladivo poté putuje do výparníku.
- b) Vypařování – Od vzduchu, vody nebo země je odebíráno teplo chladivem, čímž dochází k odpařování (mění skupenství na plynné).
- c) Komprese - Kompresor tepelného čerpadla stlačí ohřáté plynné chladivo, čímž se zvýší jeho teplota. Tímto způsobem dosáhneme požadované teploty (většinou se uvádí 30 až 60°C)
- d) Kondenzace – Zahřáté chladivo předá pomocí výměníku teplo mediu v topném okruhu, čímž se ochladí a zkondenzuje. Poté putuje zpět k expanznímu ventilu. [18]

Tepelné čerpadla se dělí na různé typy podle toho, odkud odebírají teplo a jakému mediu jej předávají. V praxi se vyskytují převážně 3 typy tepelných čerpadel:

- a) Vzduch – voda
- b) Země – voda
- c) Voda – voda

Důležitým faktorem každého tepelného čerpadla je topný faktor. Topný faktor v podstatě označuje účinnost. Jedná se o poměr vyprodukované energie a spotřebované energie. Topný faktor můžeme také vypočítat pomocí rovnice (35).

$$COP = k \cdot \frac{\theta_s}{\theta_s - \theta_z} \quad (35)$$

Kde: **COP** – topný faktor TČ,

K – korelační koeficient respektující skutečný oběh (0,4 až 0,6),

θ_s – absolutní teplota spotřebiče tepla [K],

θ_z – absolutní teplota zdroje tepla [K].

5.1.1 Vzduch – voda

U tohoto typu TČ dochází k odběru tepla ze vzduchu, které se předává se do vody (nebo jiného kapalného otopného media), přičemž následně, obvykle přes výměník, vytápí budovu. Nevýhodou tohoto TČ je, že s klesající teplotou klesá rovněž jeho topný faktor, což je nepříjemné, protože při snižující se teplotou rovněž vzrůstají nároky tepelný výkon (narůstají tepelné ztráty). Tento druh TČ je nejrozšířenější, protože jeho pořizovací náklady jsou nejmenší. Jelikož je ve vzduchu poměrně málo tepla musí se zpracovat velké objemy. V zimním období dochází vlivem kondenzace vodní páry ze vzduchu k namrzání venkovního výměníku, což snižuje topný faktor.

5.1.2 Země – voda

Zdrojem energie u tohoto TČ je tepelná energie ze země. Tyto čerpadla jsou dvou typů a to buď s horizontálním výměníkem, nebo se svislým zemním vrtem. Všeobecně jsou oproti TČ vzduch/voda lepší hodnoty topného faktoru, protože teplota zeminy v určité hloubce je relativně stálá. U tepelného čerpadla s horizontálním výměníkem je výhoda nižší ceny zemních prací, ale nevýhodou je potřeba větší plochy pro instalaci, která je u svislého vrtu minimální. V porovnání s TČ vzduch voda jsou však pořizovací náklady díky zemním pracím vyšší.

5.1.3 Voda – voda

Tepelná čerpadla typu voda – voda využívají jako tepelný zdroj vodu, a to většinou vodu podzemní. Výhody a nevýhody jsou velmi obdobné jako u TČ země – voda. U tohoto typu TČ je potřeba studna s dostatečnou vydatností.

5.2 Solární kolektory

Dalším způsobem jakým můžeme využívat obnovitelné zdroje energie, jsou solární kolektory. Solární kolektory mají absorpční plochu, která přemění sluneční záření v teplo, které používáme pro přípravu teplé vody, vytápění a ohřev vody v bazénu. Důležitým parametrem solárního kolektoru je jeho účinnost η za ustálených podmínek. Tato účinnost je poměr tepelného výkonu ku „příkonu“ slunečního záření. Z tohoto vyplývá, že velmi důležité při projektování solárních kolektorů je jejich umístění na co nejvíce osluněnou část budovy. Další důležitý parametr je bezesporu tepelný výkon, který se stanovuje z měření průtoku teplotnosné látky kolektorem a rozdílem mezi teplotami na vstupu a výstupu. [19]

Solární kolektory můžeme rozdělit na dva typy a to na solární panely ploché a trubicové. Trubicové vakuové solární kolektory jsou výhodnější pro solární systémy pro přitápění a přípravu teplé vody. Absorpční vrstva kolektoru je chráněna vakuem a mají velmi malou tepelnou ztrátu, díky čemuž se nesnižuje jejich účinnost při nižší venkovní teplotě. Ploché solární kolektory jsou rovněž vhodné na přípravu teplé vody, vytápění, ale také na ohřev bazénu. Díky jednoduché konstrukci jsou levnější, ale mají nižší účinnost a to především při nízkých teplotách. [20]

5.3 Fotovoltaické panely

Fotovoltaické panely využívají sluneční energii jako zdroj příkonu stejně jako solární kolektory. Vývoj fotovoltaických panelů se nastroval v sedmdesátých letech minulého století. V průběhu vývoje postupně narůstá účinnost a klesá cena při současném nárůstu životnosti fotovoltaických článků a panelů. Jedny z prvních článků měli účinnost okolo 6% a byly technologicky a energeticky velmi náročné na výrobu.

Typy fotovoltaických panelů:

- a) Krystalické – nejrozšířenější panely sestavené z článků vyrobených na tenkých deskách z krystalického křemíku.
 - Monokrystalické
 - Multikrystalické
 - Ribbon
- b) Tenkovrstvé – méně rozšířené panely reprezentované několika odlišnými technologiemi.
 - Amorfni křemík
 - Mikrokristalický křemík
 - Tandem/micromorph – dvouvrstvá struktura amorfniho mikrokristalického křemíku
 - CdTe – Kadmium-telurid
 - CIS – měď, indium, selen
 - CISGS měď, indium, galium, selen

Účinnost krystalických panelů je v dnešní době v rozmezí 15 až 20%. [21]

5.3.1 Fotovoltaické systémy

Systém připojení k síti (grind-on) je založen na principu, že vyrobenou elektrickou energii dům spotřebovává, nicméně pokud není dostatečný odběr v budově, dochází k prodeji přebytků do sítě. Tento systém je bez akumulátorů a jediný akumulátor, který se využívá je sama síť. Nezbytnou součástí je měnič stejnosměrného napětí na střídavé.

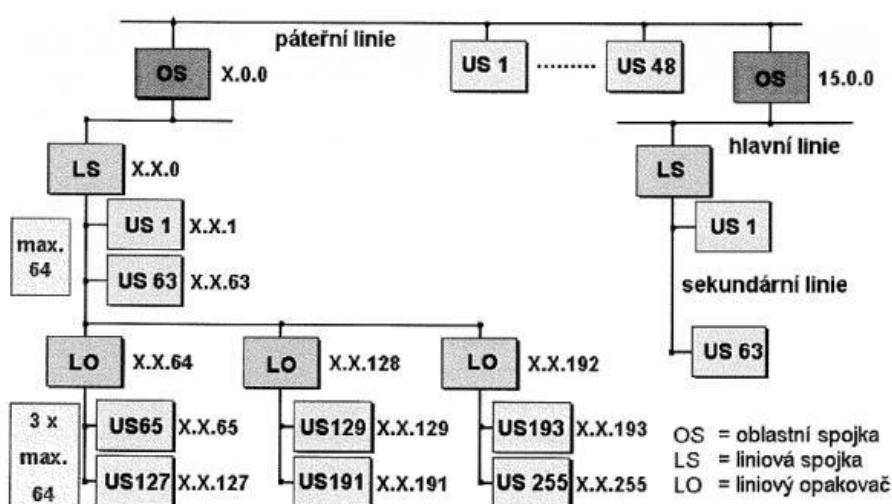
Systém ostrovní (grind-off) využívá baterie pro uchování elektrické energie. Tento systém se používá převážně v místech, kde není možné připojení do elektrické sítě (např. chaty). Nevýhodou tohoto systému je, že baterie jsou drahé a mají omezenou kapacitu a životnost.

6 SBĚRNICOVÝ SYSTÉM KNX

Certifikační a koordinační asociace EBIA (European Installation Bus Assotiation), která vznikla v roce 1999 v Bruselu, měla za účel sdružit všechny výrobce instalačních sběrnic, produktů a protokolů. V roce 2003 se podařilo definovat standard konnex (KNX). Tento standard je uveden v evropské normě *EN 50090* a v roce 2006 byla odsouhlasená jako celosvětová norma *ISO/IEC 14543-3*. Výhodou tohoto systému je široká paleta výrobců s velkým portfoliem produktů. [22]

6.1 Základní charakteristika

Každý účastník komunikace na sběrnici má přiřazenou jedinečnou adresu, aby bylo jasné, o které zařízení se jedná, tato adresa se nazývá „individuální adresa“. Většinou se pro toto číslování používá tříúrovňové adresy (1.1.1 atd.). První úroveň udává oblast, druhá úroveň udává linii a třetí individuální přístroj. Sběrníkový systém KNX je rozdělen do několika úseků. Toto rozdělení je z důvodu, že napájecí zdroj dokáže napájet jen omezené množství prvků. Maximální délka úseku obsahuje vždy maximálně 64 přístroj. V případě, že nám 64 přístrojů nestačí, můžeme vytvořit více úseků, které propojíme pomocí liniových spojek. Maximální počet přístrojů může být více než 58 tisíc. Liniové spojky galvanicky oddělují jimi propojené větve. Pokud na jedné sběrnici potřebujeme použít dva napájecí zdroj je určena maximální vzdálenost mezi těmito zdroji na 200m. Sběrnice může mít maximálně 1000m, přičemž maximální vzdálenost mezi prvky je 700m. [23]



Obr. 2: Náčrt základní topologie [23]

6.2 Přenosová media

Pro přenos lze použít několik typů přenosových medií:

1. Twisted pair (kroucený pár) – komunikační rychlost 9,6kbit/s, převzaté ze standardu EIB.
2. Power line (napájecí síťové vedení) – metalické vodiče, komunikační rychlost 1,2kbit/s, nosná frekvence 110kHz.
3. Radio frequency (radiový přenos) – bezdrátová komunikace na frekvenci 868MHz, systém kódování FSK.
4. Infra red (infráčervený přenos) – rovněž bezdrátová komunikace.
5. Můžeme použít i další media jako je Ethernet, WiFi, FireWire, Bluetooth.

6.3 Komunikace na sběrnici

Komunikační model KNX je založen na modelu ISO OSI. Pro potřebu komunikace KNX nejsou potřeba všechny vrstvy ISO OSI, a proto se využívají jen některé. Přístroje komunikují pomocí zasílání telegramů, které mají udělenou jednu z 3 priorit. Komunikovat je možné jen za předpokladu, že sběrnice není obsazená. Pokud komunikují dvě zařízení současně, dochází ke kolizi, kterou řeší protokol CSMA/CA takovým způsobem, že přednost má protokol, který má vyšší prioritu. Hlavní prvky sítě:

1. *Common Object Definitions* – vzájemně propojené distribuované aplikační modely pro zpracování a přizpůsobení různých úloh z oblasti automatizace budov.
2. *Configuration Tools* – schémata pro konfiguraci a přesné řízení všech síťových zdrojů a pro povolení logického propojení částí distribuovaných aplikací, běžící na odlišných uzlech. Celá struktura KNX je založena na konfiguračních módech.
3. *Communication* – KNX Common Kernel – komunikační systém spravující komunikaci po fyzickém médiu, protokol zpráv a příslušné modely v komunikačním stohu každého módu. Podporuje a vyřizuje všechny komunikační požadavky pro konfiguraci a řízení instalace, stejně jako běžících distribuovaných aplikací.
4. *Media Coupler* – konkrétní hardwarové provedení rozhraní pro připojení a přístup zařízení na zvolený typ komunikačního média. [24]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 POPIS OBJEKTU

Jedná se o rodinný dům obdélníkového půdorysu. Dům má jedno podzemní podlaží, jedno nadzemní podlaží a obytné podkroví. Podzemní podlaží obsahuje garáž, technickou místnost, dílnu a sklepy. První nadzemní podlaží obsahuje obývací pokoj, ložnici, kuchyni s jídelnou, koupelnu a toaletu. V obytném podkroví se nachází 3 pokoje a koupelna.

Objekt se nachází ve Zlínském kraji, konkrétně v Uherském hradišti, v okrajové čtvrti Jarošov. Budova je situována tak, aby byly nejvíce prosklené plochy nasměřovány na jih. Příjezd k budově je možný pouze z přední strany pomocí místní komunikace. Součástí objektu je garáž pro jedno motorové vozidlo.



Obr. 3: Satelitní obrázek řešeného rodinného domu

Rodinný dům je napojen na elektrické rozvody, zemní plyn, vodovodní řád a kanalizaci. Dešťová voda stejně jako splašková voda je odváděna kanalizací. Budova slouží pouze jako obytná a nenachází se v ní žádný provoz ani výroba, jež by měla negativní vliv na zdraví obyvatel nebo na životní prostředí. V současné době je obydlen čtyřmi obyvateli.



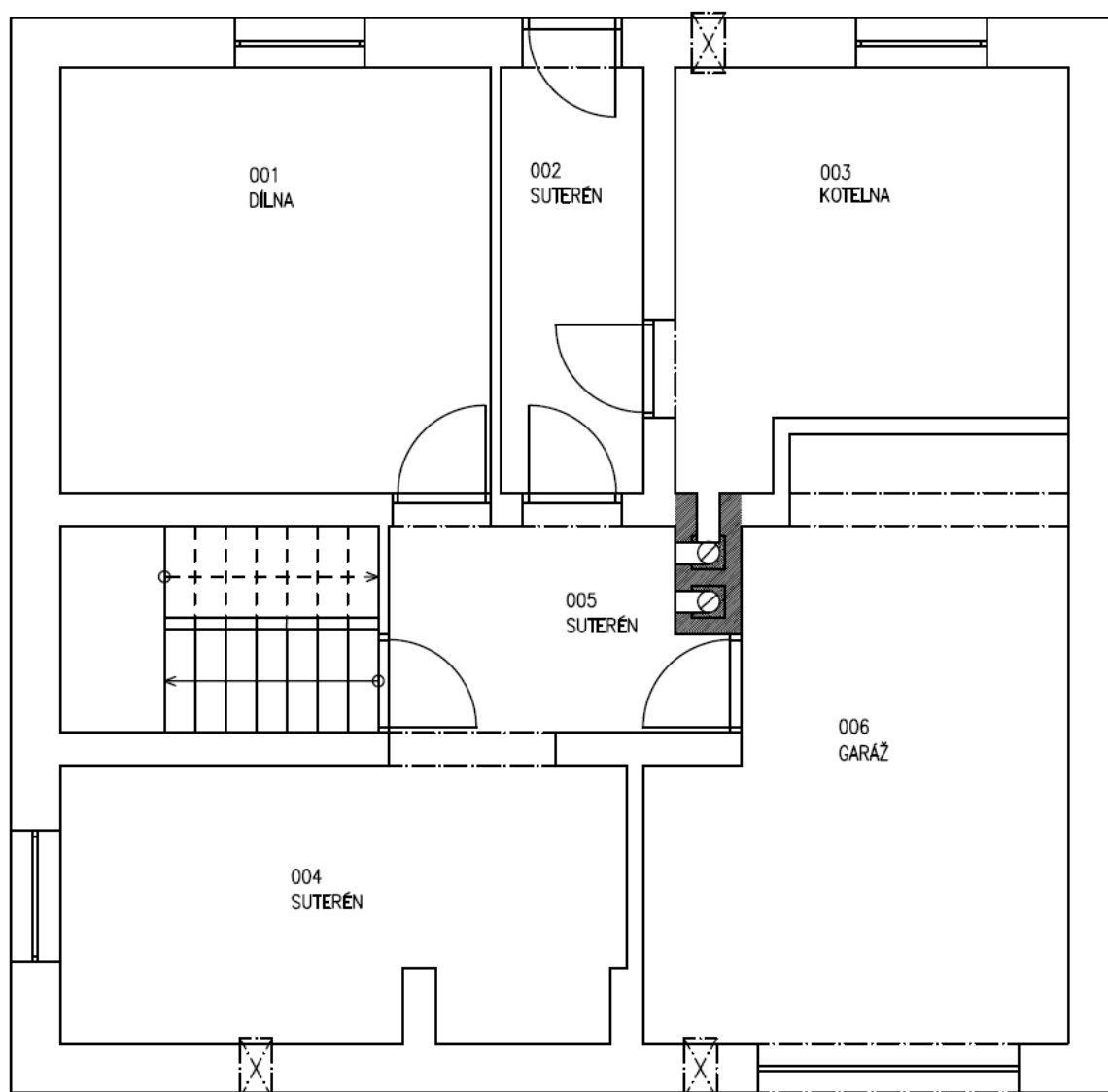
Obr. 4: Jihovýchodní strana



Obr. 5: Jihozápadní strana



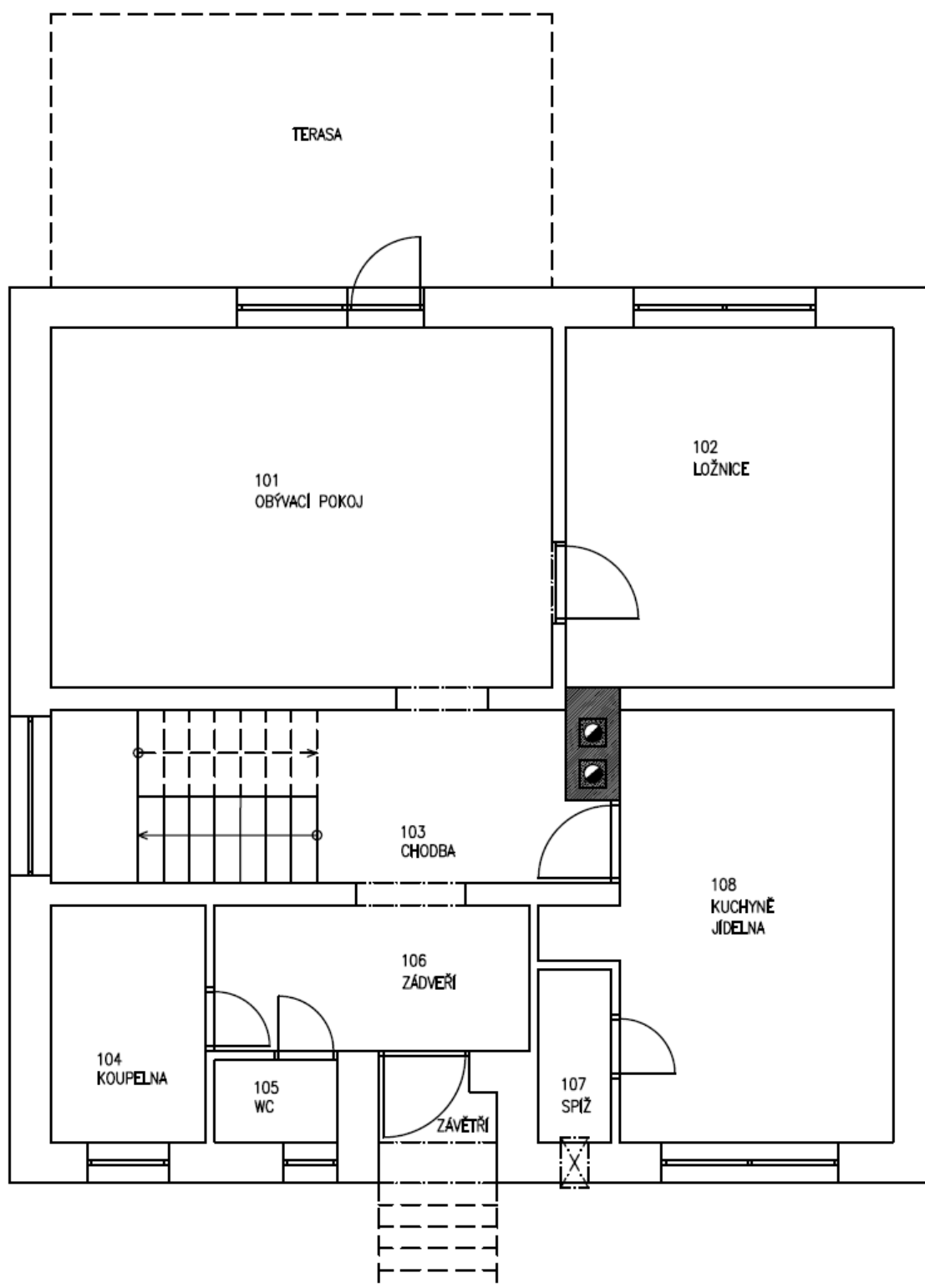
Obr. 6: Severozápadní strana



Obr. 7: První podzemní podlaží

Tab. 14: Rozpis místností 1PP

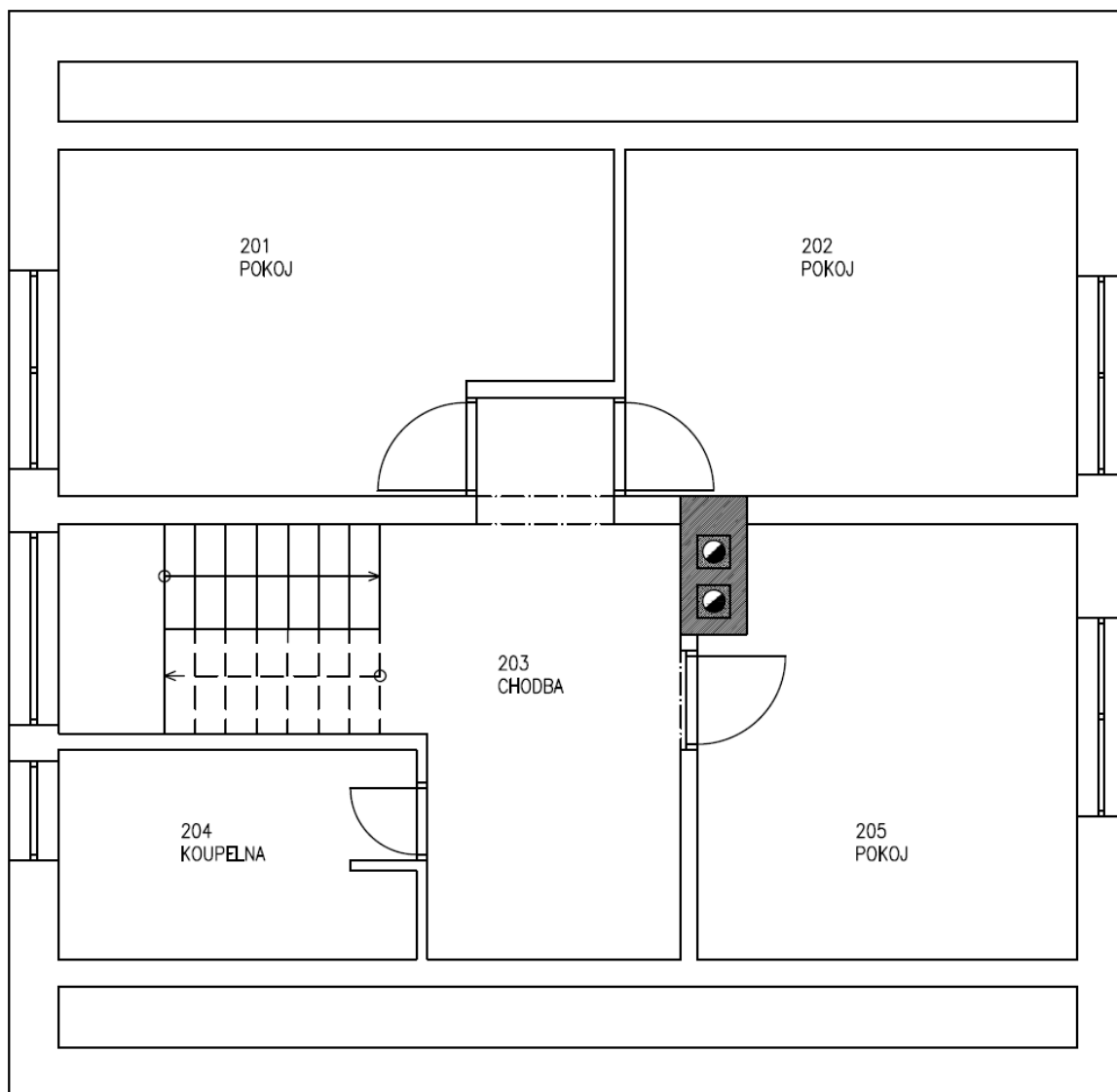
Patro	Číslo	Místnost	Plocha podlahy $A [m^2]$	Objem vzduchu $V_i [m^3]$
1PP	001	Dílna	15,4	40,1
	002	Suterén	5,1	13,3
	003	Kotelna	12,2	31,8
	004	Suterén	13,3	34,6
	005	Suterén	5,6	14,6
	006	Garáž	21,4	55,7



Obr. 8: První nadzemní podlaží

Tab. 15: Rozpis místností INP

Patro	Číslo	Místnost	Plocha podlahy A [m ²]	Objem vzduchu V_i [m ³]
1NP	101	Obývací pokoj	21,3	56,5
	102	Ložnice	18,7	37,0
	103	Chodba + schodiště	13,7	36,5
	104	Koupelna	7,0	10,8
	105	WC	2,6	6,5
	106	Zádveří	8,0	15,9
	107	Spíž	2,7	9,2
	108	Kuchyně + Jídelna	19,4	15,55



Obr. 9: Podkroví

Tab. 16: Rozpis místností podkroví

Patro	Číslo	Místnost	Plocha podlahy A [m ²]	Plocha stropu A_s [m ²]	Plocha šikminy $A_{\text{š}}$ [m ²]	Objem vzduchu V_i [m ³]
Podkroví	201	Pokoj	18,1	11,4	6,7	35,5
	202	Pokoj	16,2	10,7	5,5	31,1
	203	Chodba + schodiště	19,9	15,6	2,9	42,5
	204	Koupelna	8,4	3,8	4,5	14,1
	205	Pokoj	16,6	11,8	4,8	32,2

7.1 Okrajové podmínky

Budova se nachází v zastavěné oblasti města Uherské Hradiště v nadmořské výšce 181 m. n. m. Výpočtové okrajové podmínky jsou uvedeny v přehledné tabulce.

Tab. 17: Okrajové podmínky

Město	Uherské Hradiště
Nadmořská výška	181 m. n. m.
Délka otopného období	233 dnů
Průměrná venkovní teplota v průběhu otopného období	3,6 °C
Výpočtová venkovní teplota pro tepelné ztráty	-12 °C
Výpočtová venkovní teplota pro posuzování konstrukcí	-15 °C

7.2 Posouzení pláště budovy

Plášť budovy musíme posuzovat jednak z hlediska součinitele prostupu tepla, ale rovněž musíme kontrolovat kritéria týkající se kondenzace vodní páry v konstrukci. Pokud by budova nesplňovala podmínky, které jsou stanoveny v normě ČSN 730540, musela by být navržena patřičná protipatření. Posouzení pláště bylo provedeno pomocí *Svoboda software 2014*.

Tab. 18: Složení obvodové stěny INP (1 interiér, 3 exteriér)

Číslo vrstvy	Název	Tloušťka d [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]	Měrná tepelná kapacita C_u [J/kgK]	Objemová hmotnost ρ [kg/m ³]	Faktor difuzního odporu μ [-]
1	Omítka vápenocementová	0,020	0,990	790	2000	19
2	Porotherm 44 na maltu	0,440	0,187	960	800	7
3	Omítka vápenocementová	0,020	0,990	790	2000	19

Okrajové podmínky výpočtu :

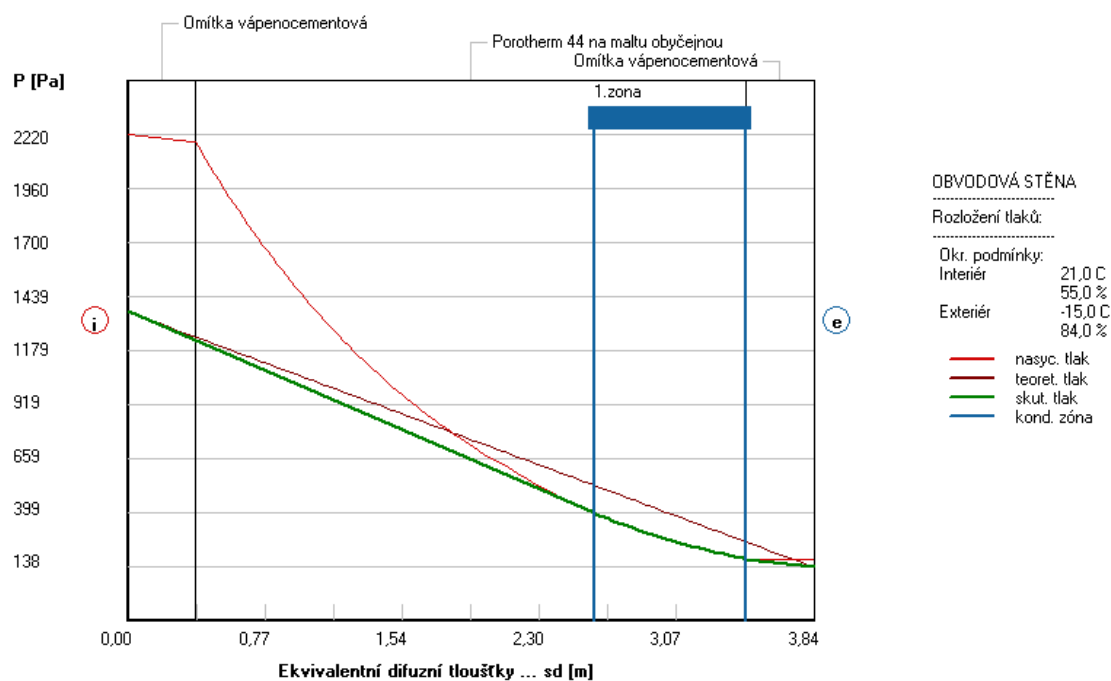
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} :	0.13 m ² K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty R_{si} :	0.25 m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} :	0.04 m ² K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty R_{se} :	0.04 m ² K/W

Návrhová venkovní teplota T_e :	-15.0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} :	21.0 °C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu R_{He} :	84.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu R_{Hi} :	55.0 %

Obr. 10: Okrajové podmínky výpočtu

Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce

Zatížení venkovní návrhovou teplotou a vlhkostí podle ČSN 730540



Obr. 11: Graf rozložení tlaků vodní páry

Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540:
(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	e
theta [C]:	19.2	18.9	-14.2	-14.4
p [Pa]:	1367	1245	260	138
p,sat [Pa]:	2220	2181	178	174

Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p,sat je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	pravá	Kondenzující množství vodní páry [kg/(m2s)]
1	0.3387	0.4600	5.320E-0008

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: **0.0729 kg/(m2.rok)**

Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$: **5.0405 kg/(m2.rok)**

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 0.0 C.

Obr. 12: Difúze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vodní páry

Z grafu, který můžeme vidět na obrázku (Obr. 11) je patrné, že ke kondenzaci vodní páry skutečně dochází a to v místě cihel. Pokud se podíváme na roční bilanci zkondenzované a vypařené vodní páry (Obr. 12) je zřejmé, že v konstrukci dochází ke kondenzaci **0,0729 kg/m²** vodní páry za rok. Množství vypařitelné vodní páry za rok je ovšem **5,0405 kg/m²**. Z této bilance tedy jasně vyplývá, že množství vypařitelné vodní páry z konstrukce je několikrát vyšší než množství zkondenzované páry, a proto je tato konstrukce z hlediska kondenzace vodní páry v pořádku a nemusí se provést žádná protipatření.

8 TEPELNÉ ZTRÁTY A ZISKY

Tepelná ztráta budovy se skládá z tepelných ztrát prostupem a tepelných ztrát větráním. Výpočet tepelné ztráty budovy probíhal rovněž pomocí *Svoboda software 2014*, jedná se o modul *Ztráty*. Tento softwarový nástroj vychází normy ČSN EN 12 831. Postup výpočtu je popsán v teoretické části (4.3) diplomové práce, a proto jej zde znovu uvádět nebudu.

Při výpočtu jsem musel zohlednit všechny konstrukce, které sousedí s exteriérem, nevytápěnou či jinak vytápěnou místností. V tabulce (Tab. 19) jsou popsány jednotlivé konstrukce.

Tab. 19: Složení jednotlivých konstrukcí (číslování vrstev: 1 interiér, 3 exteriér)

Konstrukce	Číslo vrstvy	Název	Tloušťka d [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K]	Měrná tepelná kapacita c_u [J/kg.K]	Objemová hmotnost ρ [kg/m ³]	Faktor difuzního odporu μ [-]
Obvodová stěna	1	Omítka vápenocementová	0,02	0,99	790	2000	19
	2	Porotherm 44 na maltu	0,44	0,187	960	800	7
	3	Omítka vápenocementová	0,02	0,99	790	2000	19
Strop nad podkrovím	1	Omítka vápenocementová	0,01	0,99	790	2000	19
	2	Desky Velox WS	0,05	0,11	1580	2000	13,7
	3	Minerální plst'	0,16	0,056	880	200	2
Podlaha pod 1NP	1	Beton hutný	0,01	1,23	1020	2100	17
	2	Perlitbeton	0,12	0,1	1150	300	9
	3	Stropní konstrukce Hurdis	0,08	0,6	960	710	18
	4	Omítka vápenocementová	0,01	0,99	790	2000	19
Šikmina v podkroví	1	Omítka vápenocementová	0,01	0,99	790	2000	19
	2	Desky Velox WS	0,05	0,11	1580	2000	13,7
	3	Minerální plst'	0,16	0,056	880	200	2
	4	Folabit AL S40	0,0042	0,21	1470	976	188240
Podezdívka v podkroví	1	Omítka vápenocementová	0,02	0,99	790	2000	19
	2	Porotherm 44 na maltu	0,25	0,11	1580	2000	13,7
	3	Omítka vápenocementová	0,02	0,99	790	2000	19

V tabulce (Tab. 20) jsem uvedl součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí a požadovaný součinitel prostupu tepla pro nové budovy dle normy. Pro konstrukce, které nevyhovují normě, budou zvažovány konstrukční úpravy. Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy je $U_{em} = 0,40 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ přičemž výchozí hodnota průměrného součinitele prostupu tepla podle normy ČSN 730540-2 byla vypočítána $U_{em,N,20} = 0,34 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Tab. 20: Součinitele prostupu tepla a tepelné ztráty prostupem jednotlivých konstrukcí

Ochlazovaná konstrukce	Plocha	Součinitel prostupu tepla U [W /m ² K]	Požadovaný součinitel prostupu tepla U_{N20} [W /m ² K]	Tepelná ztráta prostupem Φ [W]
Obvodová stěna	126,1	0,39	0,3	1599
Šikmina v podkroví	24,4	0,29	0,3	232
Podlaha pod 1NP	95,4	0,59	0,6	582
Strop pod nevytápěným prostorem	21,5	0,60	0,6	134
Podezdívka v podkroví	30,5	0,61	0,6	195
Strop nad podkrovím	53,3	0,28	0,3	323
Vnitřní příčka 100	19,9	2,35	1,3	68
Vnitřní příčka 250	19,1	0,61	1,3	64
Jednoduché okno s dvojsklem	20,7	1,40	1,5	937
Dveře dřevěné plné	6,5	1,77	1,5	140
Tepelné vazby				695
Celkem	417,4			4969

Při výpočtu tepelných ztrát jsem musel postupovat místnost po místnosti a to z toho důvodu, že pro výběr vhodných otopných těles jednotlivých místností potřebuji znát jejich tepelné ztráty. Celková tepelná ztráta budovy je $\Phi = 7750 \text{ W}$. Tato tepelná ztráta je tvořena z $\Phi_T = 4969 \text{ W}$ prostupem a z $\Phi_V = 2781 \text{ W}$ větráním. První nadzemní podlaží má celkové ztráty $\Phi = 5015 \text{ W}$, z čehož $\Phi_T = 3290 \text{ W}$ je prostupem tepla a $\Phi_V = 1725 \text{ W}$ větráním. Podkroví má tepelné ztráty $\Phi = 2735 \text{ W}$ z čehož $\Phi_T = 1679 \text{ W}$ má prostupem tepla a $\Phi_V = 1056 \text{ W}$ větráním.

8.1 Úpravy konstrukcí

Z tabulky (Tab. 20) lze jednoznačně vyčíst, že konstrukce nevyhovující z hlediska součinitele prostupu tepla jsou vnější dveře, vnitřní příčka 100 (sousedící s nevytápěným prostorem), podezdívka v podkroví a obvodová stěna. Tři prvně napsané konstrukce mají velmi nízkou tepelnou ztrátu a pořizovací cena nových či zateplovací náklady stávajících by byly vysoké, a proto se jim nebudu věnovat.

Obvodová stěna, která tvoří přibližně 32% tepelných ztrát prostupem, nesplňuje normu o $\Delta U = 0,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Zateplení této konstrukce budu posuzovat především z hlediska ekonomického. Pro výpočet jsem zvolil zateplovací systém *Baumit open* jehož přibližnou cenu včetně montáže můžeme stanovit na 1500 Kč/m^2 . Při použití tohoto zateplovacího systému klesne součinitel prostupu tepla na $U = 0,132 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Výpočet snížení tepelných ztrát prostupem tepla na metr čtvereční:

$$P = \Delta U \cdot (\theta_i - \theta_e) = (0,39 - 0,132) \cdot (20 - (-15)) = 9,03 \text{ W/m}^2 \quad (36)$$

Změna měrné potřeby tepla:

$$\Delta \dot{q} = 24 \cdot \Delta U \cdot D = 24 \cdot 0,258 \cdot 3821 \cong 24 \text{ kWh/m}^2 \quad (37)$$

Kde: D – denostupně (pro Uherské Hradiště $D=3821 \text{ K} \cdot \text{den}$).

Pro výpočet snížení nákladů na vytápění budu vycházet ze stávajícího vytápění zemním plynem při ceně $1,2 \text{ Kč/kWh}$.

$$\Delta N = \dot{q} \Delta \cdot \text{Cena} = 24 \cdot 1,2 = 28,8 \text{ Kč/(rok} \cdot \text{m}^2) \quad (38)$$

Výpočet doby prosté návratnosti investice do zateplovacího systému:

$$T = \frac{\text{Náklady}}{\text{Úspory}} = \frac{1500}{28,8} \cong 52 \text{ let} \quad (39)$$

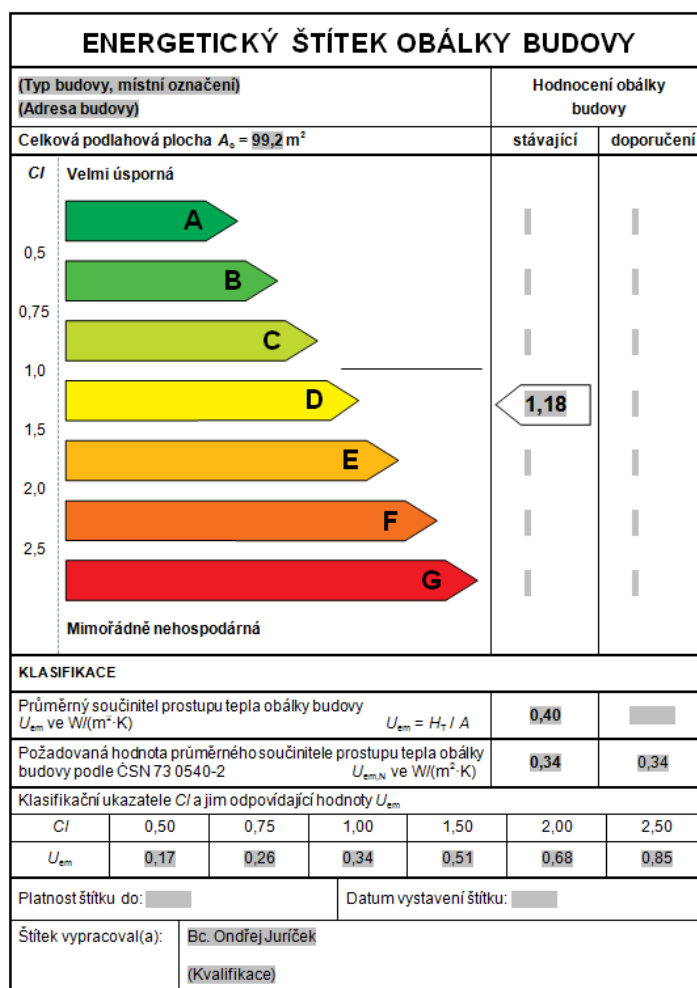
Z výpočtu tedy vyplývá, že doba prosté návratnosti investice na zateplovací systém je 52 let při použití stávajícího vytápění pomocí zemního plynu. Pokud budeme uvažovat, že bude na vytápění použito tepelné čerpadlo, které by mělo náklady na vytápění snížit, do-

jdeme k závěru, že návratnost tohoto systému může být ještě mnohem větší. Z tohoto tedy vyplývá, že použití takového zateplovacího systému by bylo neekonomické.

8.2 Energetický štítek budovy

Energetický štítek budovy je v podstatě grafickým vyjádřením stavebně-energetických vlastností konstrukcí domu. Z hlediska energetického štítku je nejdůležitějším parametrem průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy U_{em} . Tento součinitel je srovnáván s požadovanou hodnotou součinitele dle normy ČSN 730540. Nové budovy musí být zařazeny nejhůře do skupiny C.

Štítek jako takový umožňuje jednoduché porovnávání budov z hlediska ochlazovaných konstrukcí. Výpočet energetického štítku budovy byl vypočten pomocí *Svoboda software* modulem *Ztráty*.

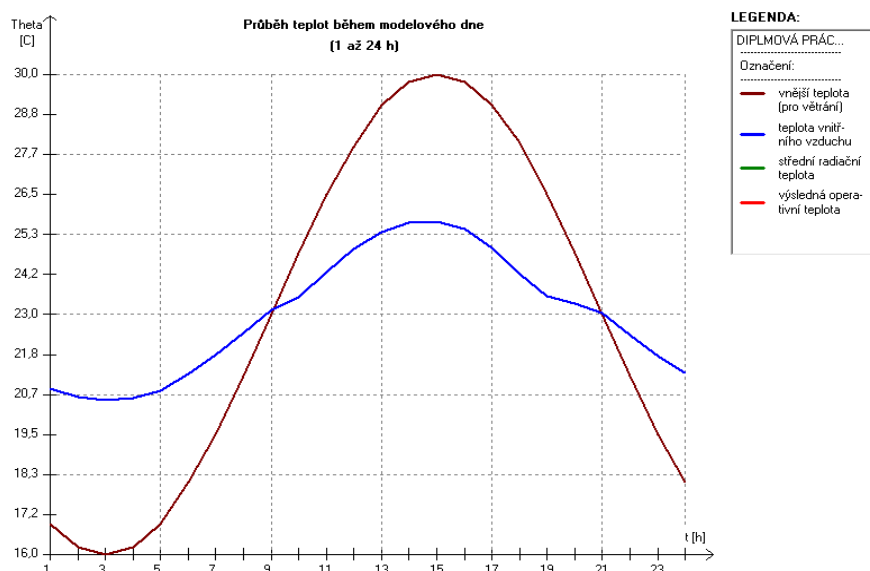


Obr. 13: Energetický štítek budovy

Jak je patrné z obrázku (Obr. 13) budova, kterou hodnotím, spadá do skupiny D. Pokud by se jednalo o novou budovu, musely by být provedeny patřičná opatření, abychom splnili minimálně takovou hodnotu průměrného součinitele prostupu tepla, aby budova spadala do třídy C. V kapitole 8.1, která se zabývá úpravami konstrukcí a jejich ekonomickou výhodností je výpočtem ověřeno, že ekonomická návratnost takové investice je velmi dlouhá, a proto se žádné úpravy na plášti budovy provádět nebudou.

8.3 Tepelná stabilita v letním období

Tepelnou stabilitu jsem počítal pro kritickou místnost, jedná se o místnost 202, která se nachází v podkroví a její orientace je na jihozápad. Výpočet probíhal pomocí programu *Svoboda software* modulem *Simulace*. Při výpočtu je nutno zohlednit tepelné zisky od obyvatel a spotřebičů. Největší vliv na nejvyšší denní teplotu vzduchu v místnosti má nepochybně sluneční energie. Maximální dovolená denní teplota vzduchu v místnosti $\theta_{ai,max,N}$ je dle normy ČSN EN 730540-2 pro nevýrobní budovu stanovena na 27°C. Překročení maximální dovolené denní teploty je povoleno o nejvíce 2°C po souvislou dobu maximálně 2 hodiny během normovaného dne, ale musí s tím investor souhlasit. Z obrázku (Obr. 14) je patrné, že maximální teplota vnitřního vzduchu byla 26,25 °C. Tato hodnota je nižší než normou dovolených 27°C, z čehož vyplývá, že požadavek je splněn a budova se nemusí v letním období strojně chladit.



Obr. 14: Průběh teploty během modelového dne

9 NÁVRH SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY

Návrh systému vytápění a přípravu teplé vody bude proveden primárně pomocí tepelného čerpadla vzduch-voda. Jako bivalentní zdroj bude použit elektrický zdroj, který je součástí vnitřní jednotky tepelného čerpadla. Teplotní spád byl zvolen s ohledem na tepelné ztráty jednotlivých místností a to tak, aby je bylo možné pokrýt radiátory s teplotami otopné vody 50/40 °C. Otopná tělesa jednotlivých místností budou použita desková. V koupelnách by bylo ideální použít podlahové vytápění a žebříky, které slouží rovněž jako sušáky na mokré ručníky. Obě koupelny jsou ovšem zrekonstruovány a bourání podlah by byla další ekonomická zátěž a bohužel nelze umístit ani vytápěcí žebříky kvůli dispozičnímu uspořádání místností.

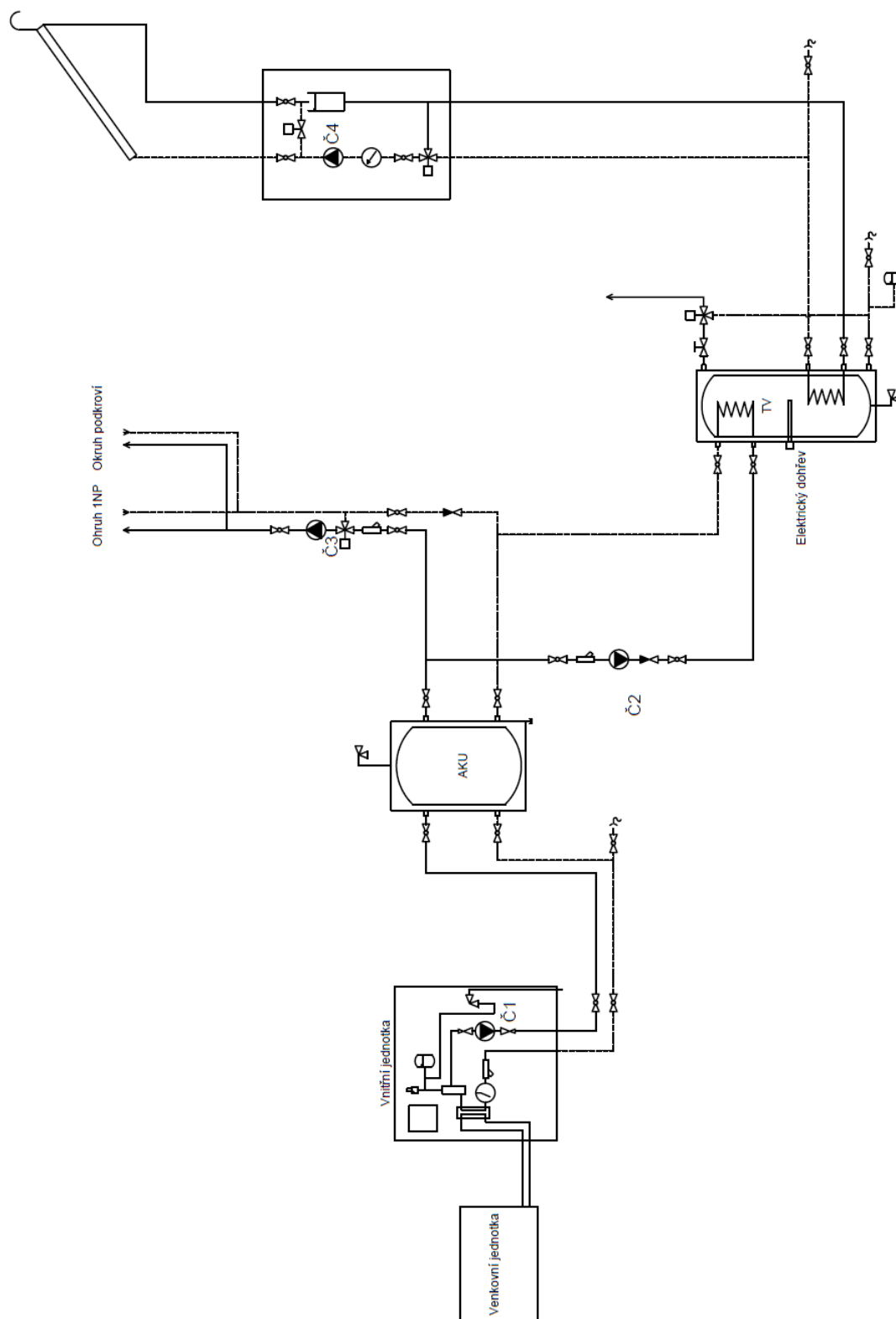
9.1 Tepelné ztráty jednotlivých místností

Výpočet tepelných ztrát jsem prováděl u jednotlivých místností, aby bylo možné navrhnout dostatečně výkonná otopná tělesa. Výsledek těchto výpočtů je uveden v tabulce (Tab. 21).

Tab. 21: Tepelné ztráty jednotlivých místností

Patro	Číslo	Místnost	Ztráta prostupem $\Phi_{T,i}$ [W]	Ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ [W]	Ztráty celkové Φ_i [W]
1NP	101	Obývací pokoj	777	307	1084
	102	Ložnice	616	201	817
	103	Chodba + schodiště	361	199	560
	104	Koupelna	393	235	628
	105	WC	163	52	215
	106	Zádvěří	225	78	303
	107	Spíž	135	24	159
	108	Kuchyně + Jídelna	620	628	1248
Podkroví	201	Pokoj	335	193	528
	202	Pokoj	397	169	566
	203	Chodba + schodiště	229	231	460
	204	Koupelna	358	288	646
	205	Pokoj	360	175	535
Součet			4 969	2 780	7 749

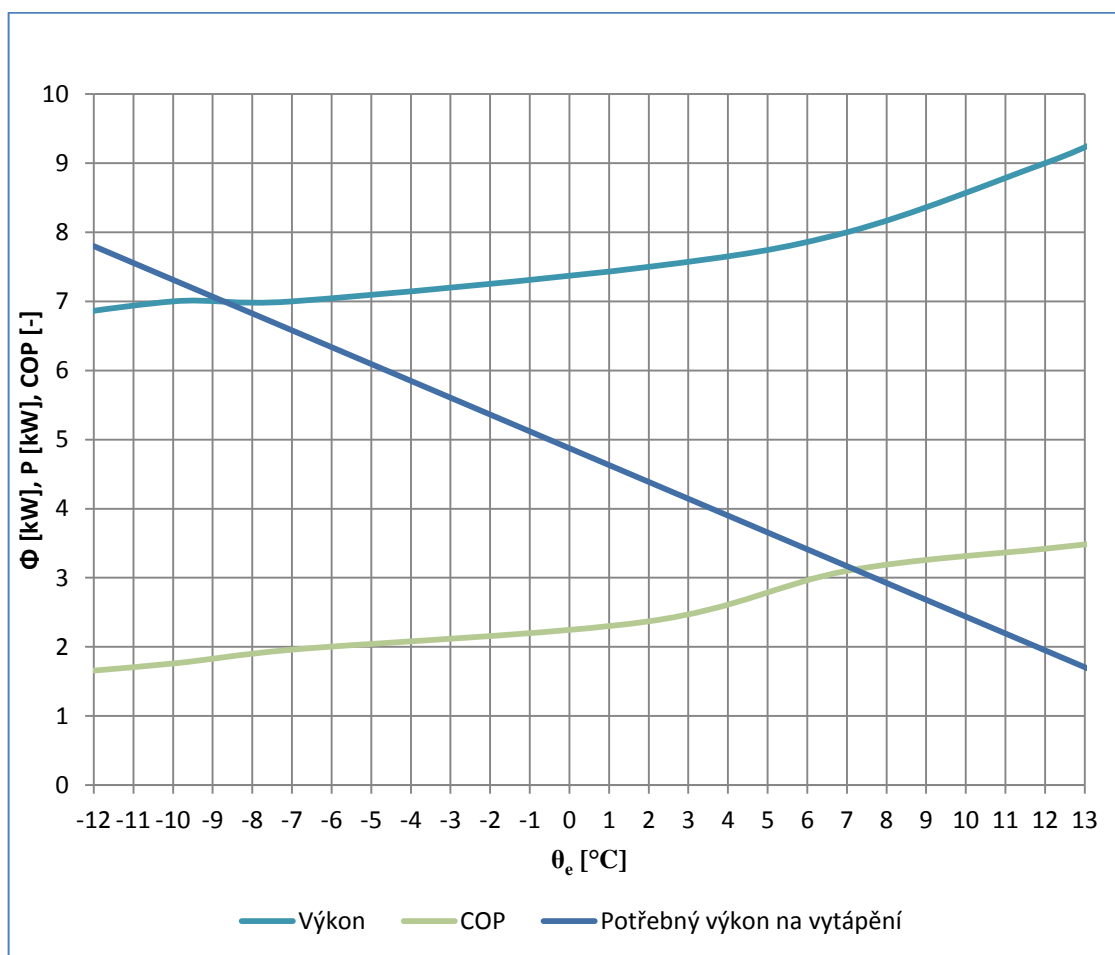
9.2 Hydraulické zapojení



Obr. 15: Hydraulické zapojení

9.2.1 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo, jež bude pro vytápěcí systém použito, je typu vzduch-voda od firmy *Mitsubishi*. Jedná se o splitové provedení tepelného čerpadla. Konkrétně se jedná o venkovní jednotku *Mitsubishi Power Inverter PUHZ-SW75VHA*. Vnitřní jednotka má modelové označení *EHSC-YM9E-B*. Tepelné čerpadlo dokáže pokrýt 6,62kW tepelných ztrát při teplotě otopné vody 50°C a venkovní teplotě -15°C při topném faktoru 1,51. Data od výrobce pro tepelné čerpadlo jsem vynesl do grafu (Graf 2). Vnitřní jednotka je mimo jiné vybavena elektrickým ohřevem vody s výkonem 9kW.



Graf 2: Hodnoty výkonu a topného faktoru použitého tepelného čerpadla pro teplotu otopné vody 50°C v závislosti na venkovní teplotě.

9.2.2 Další použité zařízení hydraulického zapojení

Pro oběh otopných těles a rovněž pro okruh ohřevu zásobníku na teplou vodu jsem zvolil čerpadlo *GRUNDFOS ALPHA2*, které je sice co se pořizovacích nákladů dražší, ale jeho spotřeba elektrické energie je nižší. Čerpadlo automaticky analyzuje požadavky otopné soustavy a najde svůj optimální provozní bod. Okruhy 1NP a podkroví jsou vyváženy pomocí vyvažovacího ventilu *TA STAND*, který bude nastaven na 3. stupeň nastavení. Pro oběh solárního okruhu jsem zvolil čerpadlo *EASY-OMIS UPS 25-60 180mm*, jehož maximální dopravní výška je 6m. Akumulační nádrž pro tepelné čerpadlo je od firmy *Dražice* a jedná se o model *UKV 102* s objem *100 l*. Elektromagnetický ventil, který je použit na solární větví je *MP-W16015VK, NO, G 1/2"* – jedná se o normálně otevřený ventil. Třicestné ventily jsou od firmy *Regulus* a jedná se o směšovací třicestné ventily s pohonem (označení: *LK 840 3/4F KVS 6,3 POHON*). Termostatický třicestný ventil pro dosažení maximální výstupní teploty 55°C ze zásobníku TV jsem zvolil rovněž od firmy *Regulus* a jedná se o typ *TV LK550*.

9.2.3 Otopná tělesa

Otopná tělesa, která budou nainstalována v budově, jsou výrobkem firmy *Korádo* a jedná se o typ těles *RADIK VK*. Tyto otopná tělesa jsou se spodním připojením na otopnou soustavu s nuceným oběhem a obsahují regulační ventil, jehož přednastavení je nutno vypočítat.

Tab. 22: Vybraná otopná tělesa 1NP

Patro	Číslo	Místnost	Délka [mm]	Výkon [W]	Objem [l]	Typ
1NP	101	Obývací pokoj	1400	1309	8,7	33VK
	102	Ložnice	2000	1009	5,8	21VK
	103	Chodba + schodiště	1800	705	5,8	20VK
	104	Koupelna	1000	656	5,8	22VK
	105	WC	600	303	5,8	21VK
	106	Zádveří	600	505	5,8	21VK
	107	Spíž				
	108	Kuchyně + Jídlna	2300	1510	5,8	22VK
Podkroví	201	Pokoj	1800	705	5,8	20VK
	202	Pokoj	1800	705	5,8	20VK
	203	Chodba + schodiště	1800	705	5,8	20VK
	204	Koupelna	1000	656	5,8	22VK
	205	Pokoj	1800	705	5,8	20VK

9.2.4 Výpočet nastavení regulačního ventilu a šroubení

Abychom dosáhli správného průtoku jednotlivými otopnými tělesy, je nutné vypočítat tlakové ztráty a patřičně nastavit regulační ventil a šroubení. Pro tento výpočet je nutné dimenzovat průměr potrubí a vypočítat tlakové ztráty třením a vřazenými odpory. Pro výpočet tlakové ztráty třením musíme vypočítat součinitel tření, jehož výpočet je závislý na typu proudění v potrubí (laminární, přechodová oblast, turbulentní).

Pro dimenzování měděného potrubí jsem vycházel z hmotnostních průtoků, které jsem si vypočítal podle vzorce (40).

$$\dot{m} = \frac{Q}{\Delta\theta * \frac{c_p}{3600}} \quad (40)$$

Kde: \dot{m} – hmotnostní průtok potrubím [kg/h],

Q – výkon [W],

$\Delta\theta$ – teplotní spád [K],

c_p – měrná tepelná kapacita vody [J/(kg · K)].

Poté jsem vypočítal rychlost proudění vody v potrubí při určitém vnitřním průřezu. Pokud byla rychlost mimo doporučené rozmezí 0,15÷0,6 m/s musel jsem zvětšit či zmenšit průřez.

Výpočet rychlosti proudění vody v potrubí:

$$w = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot S} \quad (41)$$

Kde: w – rychlost proudění vody v potrubí,

\dot{m} – hmotností průtok [kg/s],

ρ – hustota vody [kg/m³],

S – průřez potrubí [m²].

Výpočet Reynoldsova čísla R_e :

$$R_e = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad (42)$$

Kde: w – rychlost proudění kapaliny [m/s],

d – vnitřní průměr potrubí [m],

ν – kinematická viskozita [m^2/s].

Výpočet součinitele tření λ pro laminární proudění $R_e \leq 2320$:

$$\lambda = \frac{64}{R_e} \quad (43)$$

Výpočet součinitele tření λ pro přechodovou oblast $2320 < R_e < 4000$:

$$\lambda = \lambda_{2320} + \frac{\lambda_{4000} - \lambda_{2320}}{4000 - 2320} \cdot (R_e - 2320) \quad (44)$$

Výpočet součinitele tření λ pro turbulentní proudění $R_e > 4000$:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left(\frac{2,51}{R_e \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71 \cdot d} \right) \quad (45)$$

Kde: λ_{2320} – součinitel tření vypočten pomocí vzorce pro laminární proudění,

λ_{4000} – součinitel tření vypočten pomocí vzorce pro turbulentní proudění,

k – absolutní hydraulická drsnost potrubí [m].

Výpočet tlakových ztrát:

$$\Delta p_{disp} = \rho \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \left(\frac{\lambda}{d} \cdot l + \sum \xi \right) [Pa] \quad (46)$$

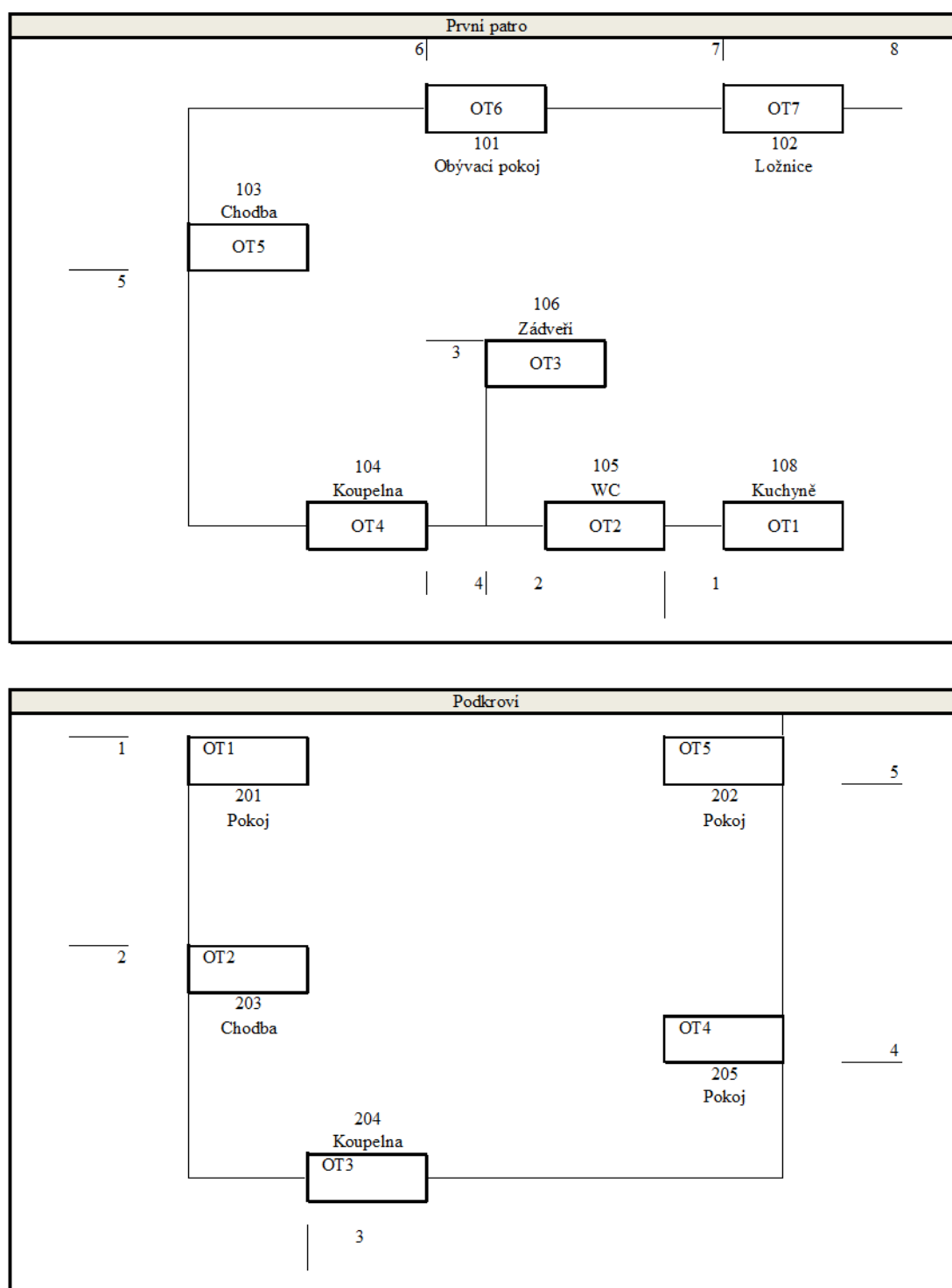
Kde: ρ – hustota otopného média [kg/m^3],

w – rychlost proudění otopného média [m/s],

l – délka potrubí [m],

ξ – součinitel vřazených odporů.

Pro výpočet jsem si rozdělil větve na jednotlivé úseky dle obrázku (Obr. 16). Při návrhu nastavení jednotlivých regulačních ventilů a regulačního šroubení jsem vždy vycházel z úseku s největší tlakovou ztrátou a to včetně započítání plně otevřeného regulačního ventilu a regulačního šroubení. Tímto způsobem jsem došel k nastavení jednotlivých regulačních armatur.



Obr. 16: Rozdělení jednotlivých okruhů

Tab. 23: Výsledky výpočtu tlakových ztrát jednotlivých okruhů

Úsek	Q [W]	m [kg/h]	l [m]	d [m]	w [m/s]	$\sum \xi$ [-]	Δp_{disp} [Pa]	Δp_{celkem} [Pa]
1NP								
1	1510	130	8	0,013	0,27	4,5	1176	19184
2	1813	156	1,4	0,013	0,33	4,0	422	13720
3	505	43	5	0,013	0,09	5,5	119	13365
4	2318	199	3	0,013	0,42	1,5	790	
5	2974	256	10	0,013	0,54	8,5	4657	12528
6	3679	316	14,8	0,016	0,44	7,0	3432	7899
7	4988	429	6,6	0,016	0,60	3,0	2689	4970
8	5997	516	4	0,020	0,46	8,5	1572	2661
Podkroví								
1	705	61	5,6	0,013	0,13	4,5	259	12114
2	1410	121	6,4	0,013	0,26	7,0	885	11118
3	2066	178	16,6	0,013	0,38	7,0	3526	10205
4	2771	238	8,8	0,013	0,50	5,5	3399	6707
5	3476	299	12	0,016	0,42	12,5	3103	3309

Tab. 24: Nastavení regulačních ventilů a šroubení u jednotlivých otopných těles

Úsek	Regulační ventil				Regulační šroubení		
	$\Delta p_{ventilu}$ [Pa]	Nastavení [hodnota]	Potřebné k_v [m ³ /h]	Nastavené k_v [m ³ /h]	$\Delta p_{šroubení}$ [Pa]	Nastavení [otáčky]	Nastavené k_v [m ³ /h]
1NP							
1	2439	6		0,84	944	max.	1,35
2	4364	2	0,113	0,126	1101	1,6	0,25
3	2660	3	0,182	0,269	3160	1,6	0,25
4							
5	4488	3	0,221	0,269	2168	1,9	0,39
6	5183	3	0,182	0,269	6102	1,6	0,25
7	7436	4	0,302	0,417	6778	2,1	0,44
8	10617	3	0,216	0,269	5906	1,9	0,36
Podkroví							
1	532	6		0,84	206	max.	1,35
2	532	6	0,614	0,84	465	3,3	0,90
3	902	4	0,412	0,6	1007	2,4	0,57
4	5183	3	0,263	0,269	224	4,6	1,29
5	5183	3	0,198	0,269	4360	1,7	0,29

9.3 Příprava teplé vody

Příprava teplé vody bude probíhat v nepřímotopném ohřívači vody s přídavným topným tělesem. Jedná se o nádrž *Dražice OKC 200 NTRR/BP*. V zásobníku bude z hygienického důvodu periodicky (jednou týdně) zvyšována teplota nad 70°C. Tento požadavek bude zajištěn přídavnou elektrickou topnou spirálou.

9.3.1 Výpočet parametru pro přípravu TV

Abychom dosáhli potřebných parametrů pro přípravu TV, musíme vypočítat minimální objem zásobníku a rovněž výkon, který potřebujeme na přípravu TV. Pro tento výpočet jsem vycházel z normy ČSN 06 0320. [25]

Teoretická potřeba tepla na přípravu TV pro 1 osobu za den je $Q_{2t}=4,3$ kWh. Při výpočtu berme ohled na teplo ztracené při ohřevu a distribuci TV, které se předpokládá během dne rovnoměrné. Pro tento účel se používá součinitel poměrné ztráty o hodnotě $z=0,5$.

Celková teoretická potřeba tepla na přípravu TV pro 4 osoby:

$$Q_{2t} = n \cdot 4,3 = 4 \cdot 4,3 = 17,2 \text{ kWh} \quad (47)$$

Teplo dodané ohřívačem do vody:

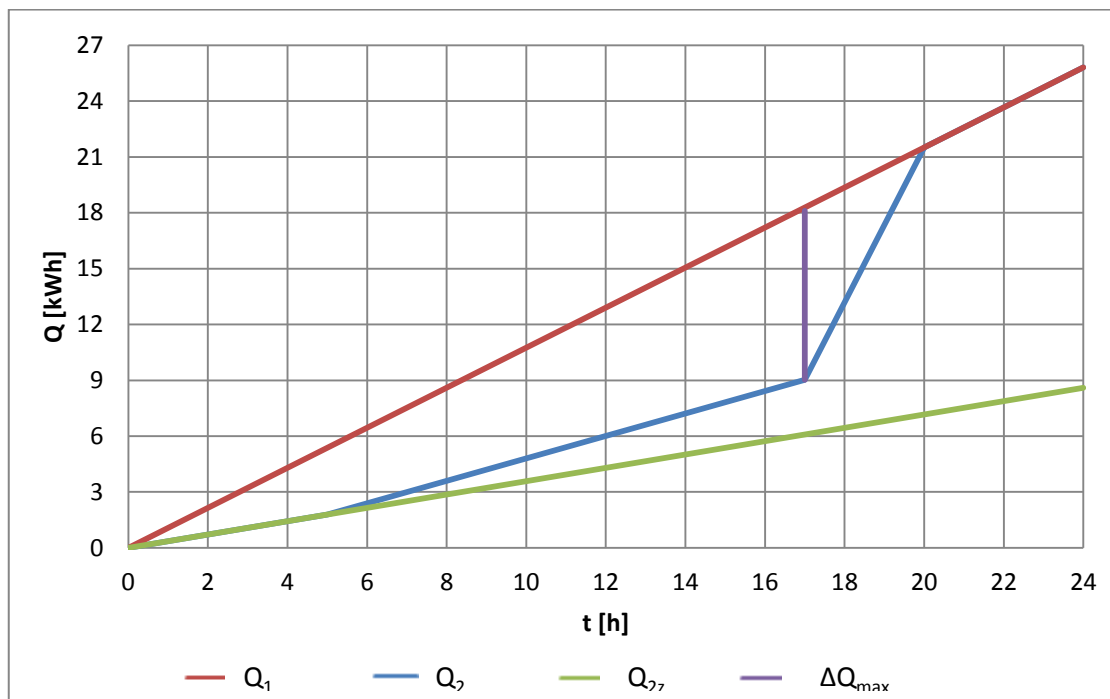
$$Q_{1P} = Q_{2t} \cdot (1 + z) = 17,2 \cdot (1 + 0,5) = 25,8 \text{ kWh} \quad (48)$$

Z celkového množství teplé vody se odebere v době 5:00 -17:00 hodin 35%, 17:00 – 20:00 hodin 50% a 20:00-24:00 15%. Do grafu (Graf 3) jsem zakreslil křivku ztráty tepla Q_{2z} ke které jsem přičetl hodnoty dané křivkou odběru tepla v jednotlivých fázích odběru TV, z čehož vznikla křivka Q_2 . Poté jsem zakreslil křivku dodávky tepla Q_1 , což je přímka, která prochází počátkem a bodem 24:00 a 25,8kWh. Poté jsem odečetl největší rozdíl mezi křivkami Q_1 a Q_2 , která je $\Delta Q_{max}=9$ kWh. Velikost zásobníku je vypočítána podle následujícího rovnice (49).

$$V_z = \frac{\Delta Q_{max}}{c \cdot (\theta_2 - \theta_1)} = \frac{9000}{1,163 \cdot (55 - 10)} \cong 172l \quad (49)$$

Jmenovitý tepelný výkon ohřevu:

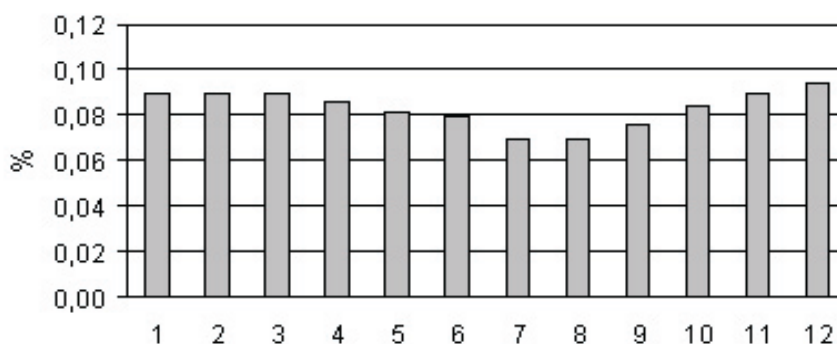
$$\Phi_{1n} = \frac{Q_{1P}}{t_p} = \frac{25,8}{24} \cong 1,1 \text{ kW} \quad (50)$$



Graf 3: Křivka dodávky a odběru tepla při přípravě TV

9.3.2 Návrh solárních kolektorů

Velmi vhodnou volbou pro přípravu TV je rovněž pole solárních kolektorů. Kolektory budou umístěny na střeše se sklonem 38° . Konkrétně se jedná o solární kolektory firmy *Regulus KPS11+*. Denní potřeba tepla na přípravu teplé vody byla vypočtena v předcházející části 9.3.1 a jedná se o hodnotu $Q_{1P} = 25,8 \text{ kWh / den}$. Nicméně tuto hodnotu pro výpočet solárních kolektorů nepoužiji, protože teoretická spotřeba teplé vody je oproti reálným hodnotám pořízeným měřením příliš velká. Je vhodné dimenzovat kolektorové pole podle reálných hodnot, abychom předešli riziku neekonomického předimenzování plochy solárních kolektorů. Dalším faktorem, který nabádá ke snížení denní spotřeby je to, že v letním období, kdy se solární kolektory primárně využívají, je spotřeba teplé vody nižší jak vyplývá z grafu který je na obrázku (Obr. 17). [27]



Obr. 17: Roční profil spotřeby teplé vody pro bytové domy

[27]

Původně uvažovaná hodnota spotřeby teplé vody byla 82 l/(os.den), což odpovídá 4,3kWh/(os.den). Nově tedy budeme počítat s 50 l/(os.den), což odpovídá 2,6 kWh/(os.den). A celková spotřeba tepla na přípravu TV na den je tedy na den $Q = 15,6$ kWh.

Výpočet solárních kolektorů vychází z topenářské příručky [27].

Skutečná denní dávka ozáření plochy:

$$H_{T,den} = \tau_r \cdot H_{T,den,teor} + (1 - \tau_r) \cdot H_{T,den,dif} \text{ [kWh/(m}^2\text{den)]} \quad (51)$$

Kde: τ – je poměrná doba slunečního svitu,

$H_{T,den,teor}$ – je teoretická denní dávka ozáření plochy [kWh/(m²den)],

$H_{T,den,dif}$ – je denní dávka difuzního slunečního ozáření [kWh/(m²den)].

Účinnost solárního kolektoru:

$$\eta_K = \eta_0 - a_1 \left(\frac{t_m - t_{es}}{G_{T,stř}} \right) - a_2 \frac{(t_m - t_{es})^2}{G_{T,stř}} \quad (52)$$

Kde: η_0 – optická účinnost solárního kolektoru,

a_1 – lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru [W/(m²K²)],

a_2 – kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru [W/(m²K²)],

t_m – střední teplota teplotonosné látky kolektoru [°C],

t_{es} – průměrná venkovní teplota v době slunečního svitu [°C],

$G_{T,stř}$ – střední denní sluneční ozáření kolektoru.

Měrný tepelný zisk kolektoru:

$$q_k = \eta_K \cdot H_{T,den} \text{ [kWh/(m}^2\text{den)]} \quad (53)$$

Výpočet potřebné plochy solárních kolektorů jsem uvedl do tabulky (Tab. 25). Hodnoty potřebné pro výpočet jsem odečetl z topenářské příručky. [27]

Tab. 25: Výpočet potřebné plochy solárních kolektorů

Měsíc	$H_{T,den}$ [kWh/(m ² den)]	η_K	q_k [kWh/(m ² den)]	A_k [m ²]	Potřebný počet kolektorů
Duben	3,76	0,61	2,31	6,7	3
Květen	4,85	0,64	3,12	5,0	2
Červen	5,45	0,66	3,60	4,3	2
Červenec	5,47	0,67	3,69	4,2	2
Srpen	4,82	0,67	3,24	4,8	2
Září	4,07	0,66	2,67	5,8	3
Říjen	2,61	0,62	1,61	9,7	4

Výpočet jsem provedl pouze pro měsíce, kdy se dá předpokládat využití solárních kolektorů dle průměrné denní teploty. Z tabulky (Tab. 25) je patrné, že abychom pokryli spotřebu tepla na přípravu TV ve všech měsících, kdy se bude solární ohřev využívat, budeme potřebovat 4 solární kolektory. Z ekonomického pohledu je to nevhodné, protože se jedná pouze o 1 měsíc. Dále tedy vypočítám, zda se vyplatí umístit na střechu 2 nebo 3 solární kolektory. Průměrný měsíční zisk je počítán oproti stávajícím elektrickému ohřevu TV při ceně 3,5 Kč/kWh.

Tab. 26: Výpočet zisků 2 solárních kolektorů

Měsíc	Průměrný denní zisk [kWh]	Využitelný denní zisk [kWh]	Průměrný měsíční zisk [kWh]	Průměrný měsíční zisk [Kč]
Duben	10,6	10,6	319,0	1116
Květen	14,4	14,4	445,6	1560
Červen	16,6	15,6	468,0	1638
Červenec	17,0	15,6	483,6	1693
Srpen	14,9	14,9	462,7	1619
Září	12,3	12,3	368,4	1289
Říjen	7,4	7,4	229,8	804
Celkem			2 777	9 720

Tab. 27: Výpočet zisků 3 solárních kolektorů

Měsíc	Průměrný denní zisk [kWh]	Využitelný denní zisk [kWh]	Průměrný měsíční zisk [kWh]	Průměrný měsíční zisk [Kč]
Duben	15,9	15,6	468,0	1638
Květen	21,6	15,6	483,6	1693
Červen	24,9	15,6	468,0	1638
Červenec	25,4	15,6	483,6	1639
Srpen	22,4	15,6	483,6	1639
Září	18,4	15,6	468,0	1638
Říjen	11,1	11,1	344,7	1206
Celkem			3 200	11 198

V tabulkách (Tab. 26, Tab. 27) je uveden průměrný denní zisk, který ovšem nevyužijeme celý v tom případě, že spotřeba TV ($Q = 15,6$ kWh) je menší než denní zisk. Z tohoto důvodu jsem tedy počítal jen s využitím 15,6 kWh ve dnech, kdy je zisk solárních kolektorů vyšší. Pro porovnání obou variant jsem vypočítal jejich návratnost.

$$T_d = \frac{\ln \left[1 + \frac{IN}{CF} \cdot (\alpha - r) \right]}{\ln \frac{1 + \alpha}{1 + r}} \quad (54)$$

Kde: IN – celková investice [Kč],

CF – průměrný roční výnos [Kč],

α – inflace (uvažujeme 2%),

r – diskont (uvažujeme 5%),

t – doba životnosti projektu [rok].

Čistá současná hodnota:

$$NPV = CF \cdot \frac{(1 + r - \alpha)^t - 1}{(r - \alpha) \cdot (1 + r + \alpha)^t} - IN \quad (55)$$

Vnitřní výnosové procento:

$$CF \cdot \frac{(1 + IRR)^t - 1}{IRR \cdot (1 + IRR)^t} = 0 \quad (56)$$

Jedná se o transcendentní rovnici, kterou jsem řešil pomocí modulu *Řešitel* v programu *Microsoft Excel 2011*.

Tab. 28: Ekonomické zhodnocení solárních kolektorů

	2 solární kolektory	3 solární kolektory
Investice IN	42 322 Kč	57 447 Kč
Průměrný roční výnos CF	9 720 Kč	11 198 Kč
Doba hodnocení t	30 let	30 let
Diskont r	5%	5%
Inflace α	2%	2%
Prostá doba návratnosti T	4,35 let	5,13 let
Diskontovaná doba návratnosti T_d	4,42 let	5,77 let
Čistá současná hodnota NPV	258 499 Kč	162 043 Kč
Vnitřní výnosové procento IRR	24,9%	21,4%

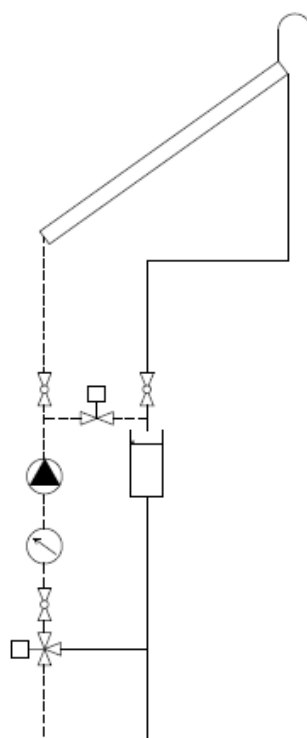
Z ekonomického zhodnocení tedy vyplývá, že výhodnější je použít pouze 2 solární kolektory.

9.4 Zabezpečovací zařízení

Každá soustava musí obsahovat zabezpečovací zařízení, které musí být k soustavě připojeno pomocí neuzavíratelného vedení. Rozdělujeme dva základní typy zabezpečovací systémy a to jsou otevřený a uzavřený systém. Každý s těchto systémů má své výhody a nevýhody. U uzavřených soustav jsou pojistná zařízení pojistný ventil a expanzní nádoba. Expanzní nádoba umožňuje kapalině (v našem případě topné vodě) expandovat z vytápěcího systému právě do této nádoby. K expanzi dochází vlivem tepelné roztažnosti vody. Pojistný ventil slouží jako ochrana okruhu proti nedovolenému tlaku. Pojistný ventil musí být dimenzován tak, aby jeho otevírací přetlak byl nižší, než je hodnota maximálního dovoleného přetlaku nejslabšího článku soustavy.

9.4.1 Okruh solárního ohřevu

Tento okruh je zabezpečen pomocí otevřeného systému. Otevřený systém jsem zvolil z toho důvodu, že pro solární okruh chci jako teponosnou látku použít vodu. Pro popis tohoto systému jsem vložil obrázek (Obr. 18).



Obr. 18: Solární okruh

Voda proudí ze solárního kolektoru do zásobníku teplé vody, kterou ohřívá pomocí výměníku. Jakmile voda zvětší svůj objem, zvedne se hladina v otevřené expanzní nádobě. Součástí tohoto systému je ventil, který je normálně otevřený. V případě chodu čerpadla se tento ventil uzavře a čerpadlo nuceně čerpá vodu do solárního kolektoru. Jakmile se čerpadlo zastaví, ventil se otevře a dochází k tomu, že voda ze solárního kolektoru vyteče do expanzní nádoby. Tímto způsobem je vyřešeno opatření proti zamrznutí vody v solárním kolektoru.

9.4.2 Okruh vytápění

Při výpočtu pojistného zařízení musíme vycházet ze základního předpokladu, že pojistné zařízení musí spolehlivě a bezpečně odvést ze zdroje tepla pojistný výkon. Pojistný výkon je v mém případě roven jmenovitému výkonu zdroje tepla. Pro tepelné čerpadlo je tedy při venkovní teplotě 20°C a teplotě otopné vody 50°C maximální výkon TČ $Q_p = 10,15 \text{ kW}$.

Výpočet průřezu sedla pojistného ventilu:

$$S_o = \frac{2 \cdot Q_p}{\alpha_v \cdot \sqrt{p_{ot}}} = \frac{2 \cdot 10,15}{0,444 \cdot \sqrt{300}} = 2,64 \text{ mm}^2 \quad (57)$$

Kde: Q_p – pojistný výkon [kW],

α_v – výtokový součinitel pojistného ventilu,

p_{ot} – otevírací přetlak pojistného ventilu [kPa].

Minimální průměr sedla pojistného ventilu:

$$d_o = \sqrt{\frac{4 \cdot S_o}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,64}{\pi}} = 1,83 \text{ mm} \quad (58)$$

Pojistný ventil byl zvolen značky *Meibes*, typu *DUCO PN16 1/2x3/4* se skutečným průřezem 133 mm^2 . Otevírací přetlak nastaven na 300 kPa .

Výpočet pojistného vedení:

$$d_v = 15 + 1,4 \cdot \sqrt{Q_p} = 10 + 0,6 \cdot \sqrt{10,15} = 11,91 \text{ mm} \quad (59)$$

Pojistné vedení bylo tedy zvoleno o vnitřním průměru 12 mm .

Výpočet velikosti expanzní nádoby probíhal následovně.

Výpočet součinitele zvěštní objemu n :

$$n = \frac{1000}{\rho_{t,max}} - \frac{1000}{\rho_{10^{\circ}C}} = 0,01175 \quad (60)$$

Celkový objem vody v systému je $V=261\text{ l}$.

Výpočet minimálního objemu expanzní nádoby:

$$n = \frac{1000}{\rho_{t,max}} - \frac{1000}{\rho_{10^{\circ}C}} = 0,01175 \quad (61)$$

Kde: $\rho_{t,max}$ – hustota při maximální teplotě v otopné soustavě [kg/m^3],

$\rho_{10^{\circ}C}$ – hustota při napouštěcí teplotě $10^{\circ}C$ [kg/m^3].

$$\eta = \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,A}}{p_{h,dov,A}} = \frac{173,58 - 154}{173,58} = 0,575 \quad (62)$$

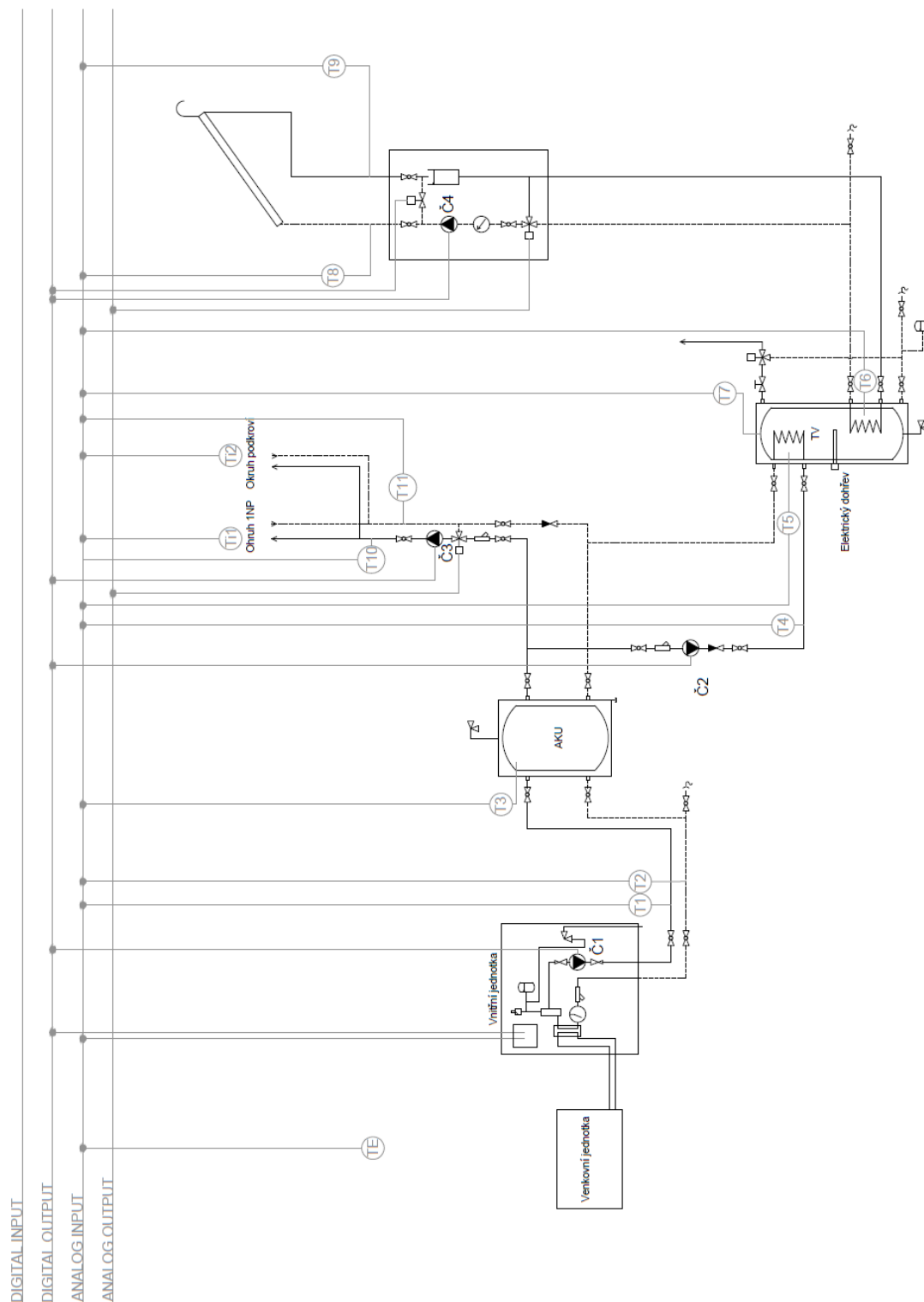
Kde: $p_{h,dov,A}$ – nejvyšší dovolený absolutní tlak [kPa],

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

$$V_{et} = \frac{1,3 \cdot V \cdot n}{\eta} = \frac{1,3 \cdot 261 \cdot 0,01175}{0,575} = 6,92\text{ l} \quad (63)$$

Expanzní nádoba, která je integrována ve vnitřní jednotce TČ má objem 10 l tudíž vyhovuje požadavku.

9.5 Řízení vytápění a přípravy TV



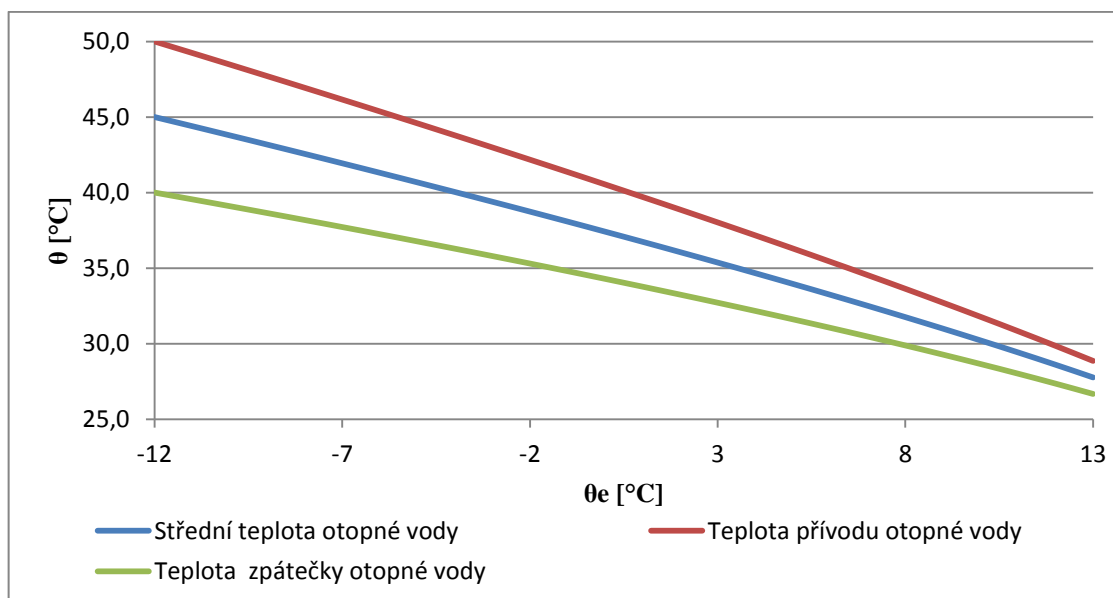
Obr. 19: Hydraulické zapojení systému včetně řídicích vstupů a výstupů

9.5.1 Řízení vytápění a přípravy TV

Pro řízení vytápění a přípravy teplé vody bude použito PLC firmy *Teco*. Celkový počet potřebných analogových vstupů je 15, analogových výstupů jsou potřeba 2, digitálních výstupů potřebují 6. Z tohoto důvodu jsem zvolil PLC *Foxtrout CP-1006*, který má 13 analogových výstupů, 2 analogové výstupy, 2 digitální vstupy a 12 digitálních výstupů. Z důvodu nedostatků analogových vstupů je ještě pořízen rozšiřující modul *IT-1604*, který má dalších 8 analogových vstupů a 2 analogové výstupy. Cena PLC je 13 500 Kč a cena rozšiřujícího modulu je 5 500 Kč.

I. Provoz v topném období

V zimním období bude TČ řízeno především s ohledem na vytápění. Příprava teplé vody bude sekundární funkcí. Teplota výstupní vody bude 50°C a TČ bude fungovat do venkovní teploty -8°C což je teplota, do které dokáže tepelné čerpadlo pokrýt tepelné ztráty budovy. TČ by mohlo předehřívat otopnou vodu i pod zmíněnou teplotu -8°C a poté by se dohřívala elektrickým ohřevem nicméně kvůli tomu, aby se TČ nadbytečně neopotřebovávalo je v případě, že je teplota menší než -7°C vypnuto a topí se pouze elektrickým ohřevem, který je součástí vnitřní jednotky. Oběhové čerpadla číslo 1, 2 a 3 jsou sepnuty 5 minut před spuštěním TČ a jejich doběh je ještě 20 minut po vypnutí TČ. Teplota otopné vody, která proudí do otopných těles, je regulována pomocí trojcestného ventilu, jež je řízen pomocí ekvitermní křivky (*Graf 4*).



Graf 4: Ekvitermní křivka pro řízení teploty otopné vody

II. Provoz mimo topné období

V případě, že venkovní teplota ve dvou následujících dnech stoupne nad 13°C, přeruší se topná sezóna. V tomto období tepelné čerpadlo slouží pouze pro přípravu TV. Pokud tedy není teplota v zásobníku TV na teplotě 50°C a současně není teplota vody v solárním kolektoru 50°C, tepelné čerpadlo sepne a ohřívá TV. Oběhové čerpadla číslo 1 a 2 se sepnou stejně jako v topné sezóně 5 minut před sepnutím TČ a doběh je 20 minut po vypnutí TČ. Jakmile dosáhne teplota v zásobníku požadované teploty 50°C na teplotním čidle T5 tepelné čerpadlo se vypne.

III. Příprava TV

Příprava teplé vody je primárně prováděna pomocí solárních kolektorů. Solární kolektor je používán pouze v případě, že venkovní teplota stoupne nad 5°C a to především proto, aby voda nezamrzla a nepoškodila solární kolektor. Jakmile teplota stoupne nad 5°C, tak se sepne oběhové čerpadlo a uzavře se elektromagnetický ventil. Dokud je teplota na teplotním čidle T9 (teplota v solárním okruhu) nižší, než teplota na teplotním čidle T6 (teplota v zásobníku TV), je trojcestný ventil nastaven takovým způsobem, aby fungoval jen okruh solárního kolektoru. Jakmile teplota na čidle T9 stoupne nad teplotu T6, začne se postupně trojcestný ventil otvírat do výměníku tak, aby docházelo k ohřevu/přehřevu vody v zásobníku. V případě, že tato teplota nestoupne ani po 30 minutách běhu, je čerpadlo vypnuto a zapne se znovu nejdříve za hodinu a to pouze v případě, že venkovní teplota stoupne alespoň o 2°C. V případě, že není v zásobníku teplé vody požadovaná teplota 50°C a nedochází k ohřevu TV ani solárním kolektorem ani tepelným čerpadlem, dochází k sepnutí topné spirály až do chvíle než je dosažena daná teplota. Jednou týdně je voda v 1:00 hodin z hygienických důvodů přehřáta na 70°C. Pokud je na výstupu ze zásobníku teplé vody teplota vyšší než teplota 55°C, dochází ke směšování TV se studenou vodou pomocí termostatického trojcestného ventilu.

10 NÁVRH SILNOPROUDÉ ELEKTROINSTALACE

Napájení jednotlivých spotřebičů je provedeno pomocí silnoproudé elektroinstalace. Dům je napojen na veřejnou elektrickou síť pomocí hlavní domovní skříně se třemi pojistkami 50A. Hlavní domovní skříň je umístěna na severozápadní stěně objektu a je napojena vzdušnou přípojkou ze sítě nízkého napětí. Další rozvody silnoproudé elektroinstalace jsou napojeny do hlavního domovního rozvaděče (HDR), který se skládá z hlavního vypínače, jističů a proudové ochrany. Měřicí hodiny a HDR jsou umístěny v závětrí před vchodovými dveřmi. Podružný domovní rozvaděč je umístěn v technické místnosti.

10.1 Návrh hlavního jističe

Abych správně dimenzoval hlavní jistič, musím nejprve odhadnout celkový příkon budovy a na základě soudobého příkonu objektu vypočítám velikost hlavního jističe. Celkový příkon budovy jsem stanovil ze součtu všech velkých spotřebičů a přírážky pro ostatní spotřebiče. Při sčítání spotřeby spotřebičů s velkou spotřebou jsem došel k číslu 22 kW, a proto dimenzuji celkový příkon budovy na $P_i = 32$ kW. Koeficient soudobnosti $\beta = 0,77$ je stanoven v normě ČSN 33 2130. [28]

$$P_s = \sum P_i \cdot \beta = 32 \cdot 0,77 = 24,64 [\text{kW}] \quad (64)$$

Kde: P_s – soudobý příkon objektu [kW],

P_i – instalovaný příkon objektu [kW],

β – koeficient soudobnosti.

Výpočet velikosti hlavního jističe:

$$I_s = \frac{P_s}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos\varphi} = \frac{24640}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} = 39,52 \text{ A} \quad (65)$$

Kde: I_s – velikost hlavního jističe [A],

P_s – soudobý příkon objektu [W],

U_s – napájecí napětí [V],

$\cos\varphi$ – fázový posun – pro bytové jednotky se volí 1 až 0,9.

Minimální velikost hlavního jističe je 39,52 A, a proto volím nejbližší vyšší, což je 3x40 A s charakteristickým typem zátěže B.

Návrh průřezu hlavního domovního vedení:

$$S = \frac{P \cdot \sigma \cdot l}{U_f \cdot u \cdot \cos\varphi} = \frac{24640 \cdot 0,0178 \cdot 10^{-6} \cdot 7}{230 \cdot 2,3 \cdot 0,9} = 6,44 \text{ mm}^2 \quad (66)$$

Kde: P – souborový příkon [W],

σ – specifický měrný odpor [$\Omega \cdot \text{m}$],

l – délka vodiče [m],

U_f – fázové napětí [V],

U – úbytek napětí na přípojce [V].

Jako hlavní domovní vedení jsem zvolil CYKY 5x10.

10.2 Zásuvkové a světelné obvody

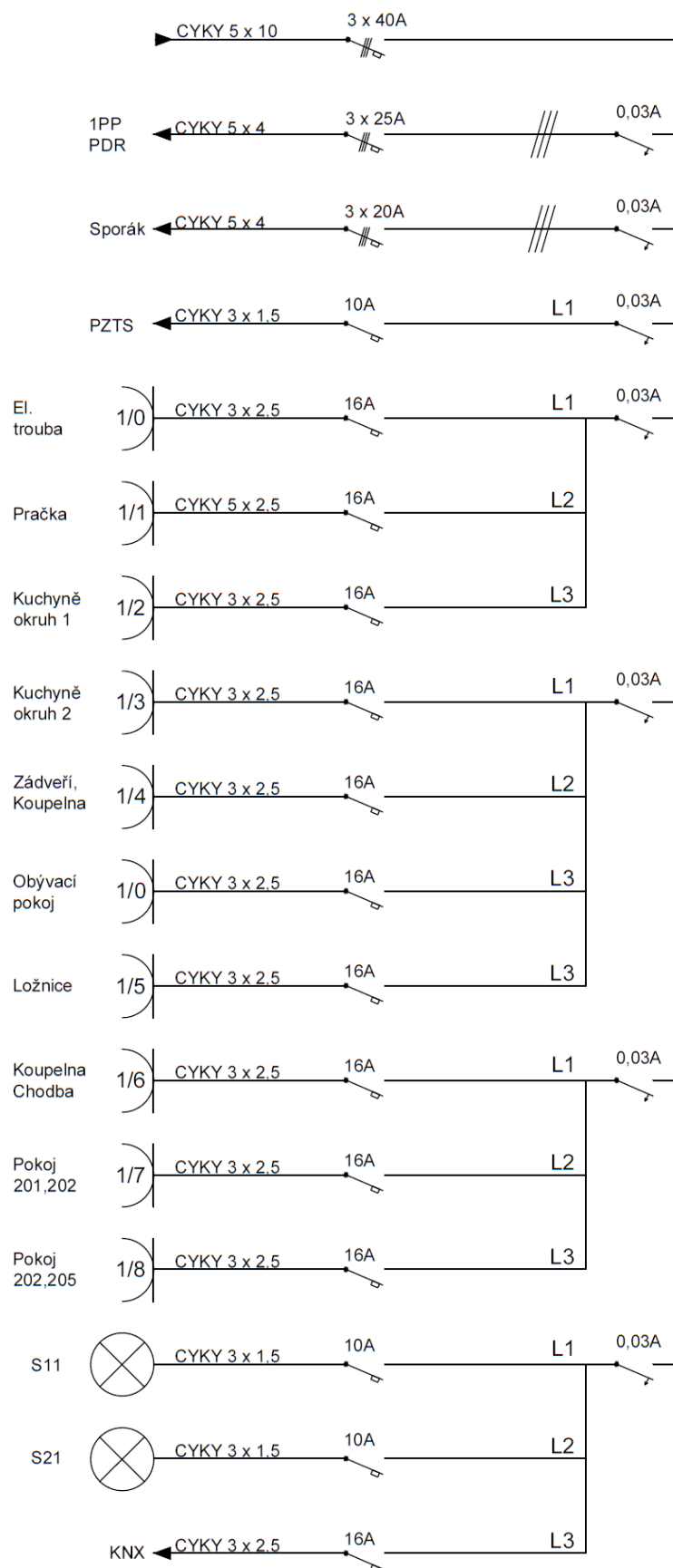
Pro zásuvkové výstupy je možné na jeden okruh napojit až 10 výstupů. U spotřebičů s větší spotřebou elektrické energie (větší než 1,5 kW) jsou vždy navedeny samostatné okruhy. Zásuvkové okruhy jsou chráněny jističem 16A o jmenovitém příkonu 3680 W s charakteristickým typem zátěže B. Pro světelné okruhy jsem zvolil jistič 10A o jmenovitém příkonu 2300 W. Světelné okruhy jsou pouze 3, pro každé patro 1. Vedení bude provedeno pomocí 3 kabelů (středního N, fáze L a ochranného vodiče PE). Jedná se o síť TN-S. Zapojení zásuvkových okruhů upravuje norma ČSN 33 2180 [29]. Zásuvkové okruhy jsou vedeny ve výšce 30cm pod stropem.

V objektu jsou navrženy dva rozvaděče. HDR je umístěn v závětrí tak, aby byla dostupná z veřejně přístupného místa, jelikož je v ní umístěn taky odečet spotřeby elektrické energie. Podružný rozvaděč je v 1PP umístěn v technické místnosti.

Osvětlení v prvním podlaží a podkroví budou řízeny pomocí KNX elektroinstalace a budou popsány v následující kapitole. Osvětlení 1PP budou spínány klasickými vypínači.

10.2.1 Hlavní domovní rozvaděč

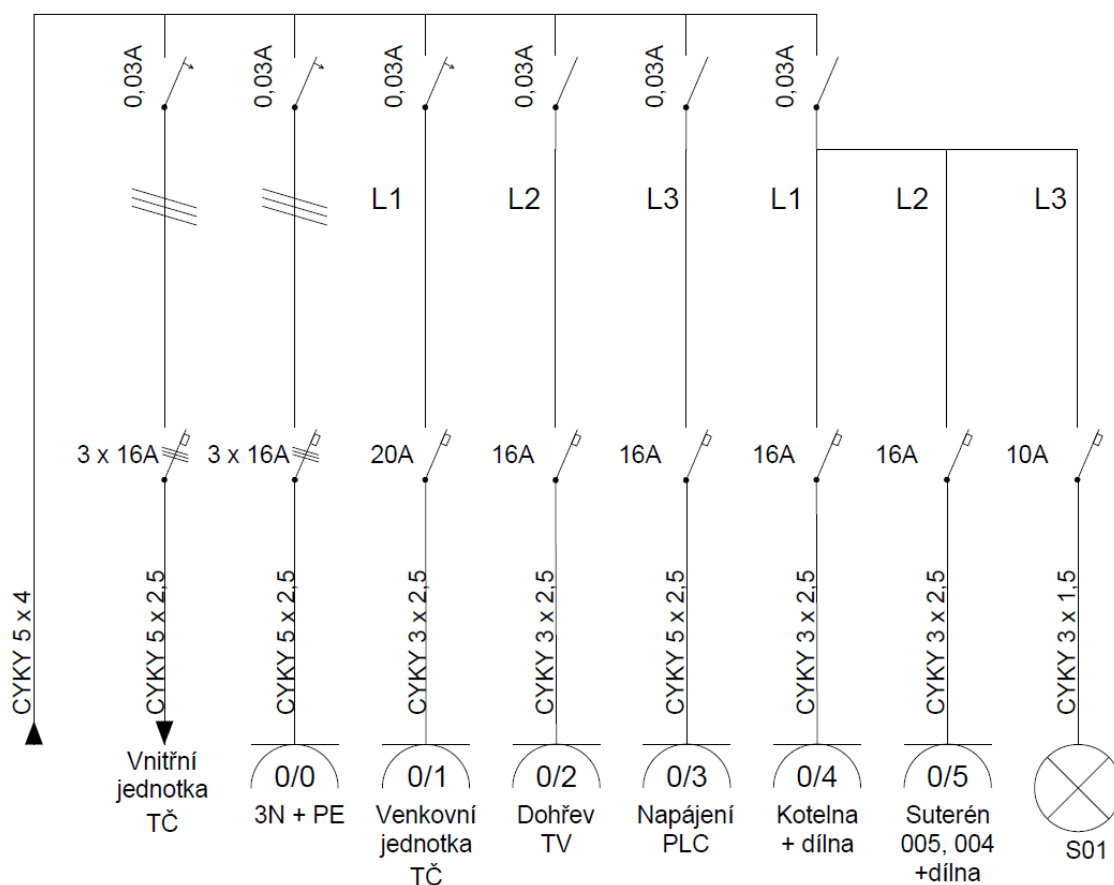
Hlavní domovní rozvaděč bude zajišťovat rozvod elektrické energie do prvního podlaží a do podkrovní. Z hlavního rozvaděče vede vývod jištěný 3 fázovým jističem o maximální hodnotě proudu 25A do rozvaděče umístěného v 1PP. Další 3 fázový výstup z HDR je určen pro napájení elektrické indukční desky v kuchyni a je jištěn 20A jističem. Dále se v HDR nachází dva okruhy, které jsou určeny výhradně pro elektrickou troubu a pračku. Dva okruhy vedoucí z HDR směřují do kuchyně a to pro to, že v kuchyni se běžně používají zařízení s větším odběrem (mikrovlnná trouba, varná konvice apod.). Pro další místnosti jsou vyčleněny jednotlivé okruhy, jelikož odběr těchto místností by neměl překročit 3,68 kW. Do druhého patra vedou rovněž 3 okruhy pro zásuvkové obvody. Pro osvětlení jsou vyčleněny pro každé patro jednotlivé okruhy jištěné 10A jističem. Další dva výstupy z HDR jsou pro napájení KNX zařízení a pro napájení PZTS, přičemž okruh pro KNX je na společném proudovém chrániči jako dva světelné okruhy. Okruh pro PZTS má svůj vlastní proudový chránič a je jištěn 10A jističem. Všechny zásuvkové okruhy jsou také chráněny proudovými chrániči, které jsou z ekonomických důvodů společné pro více větví. Zásuvkové okruhy jsou provedeny pomocí napájecího kabelu CYKY 3 x 2,5 a pro světelné okruhy jsou použity kabely CYKY 3 x 1,5. Všechny proudové chrániče jsou o jmenovitém reziduálním proudu 0,03A a jsou buď dvoupólové, nebo čtyřpólové. Celý návrh zapojení HDR je uveden na obrázku (Obr. 20).



Obr. 20: Ná kres zapojení hlavního rozvaděče

10.2.2 Podružný domovní rozvaděč

Podružný domovní rozvaděč bude umístěn v technické místnosti v 1PP. Tento rozvaděč bude obsahovat 2 třífázové výstupy s jištěním 16A. Jeden z těchto výstupů je určen pro vnitřní jednotku tepelného čerpadla a druhý pro zásuvku pro případ potřeby zapojení 3 fázového spotřebiče. Další výstup, který je jištěn 20A jističem slouží k napájení venkovní jednotky TČ. Zbylé zásuvkové okruhy jsou jištěny 16 A jističem a jeden světelný okruh je jištěn 10A jističem. Proudovou ochranu obsahují všechny větve vlastní. Výjimku tvoří jen okruhy pro zásuvky v místnostech a světelný okruh, které mají proudovou ochranu společnou. Důvod tohoto rozdělení je ten, aby v případě výpadku jednoho ze systému nebyl ovlivněn jiný. Návrh zapojení podružného domovního rozvaděče je na obrázku (Obr. 21).














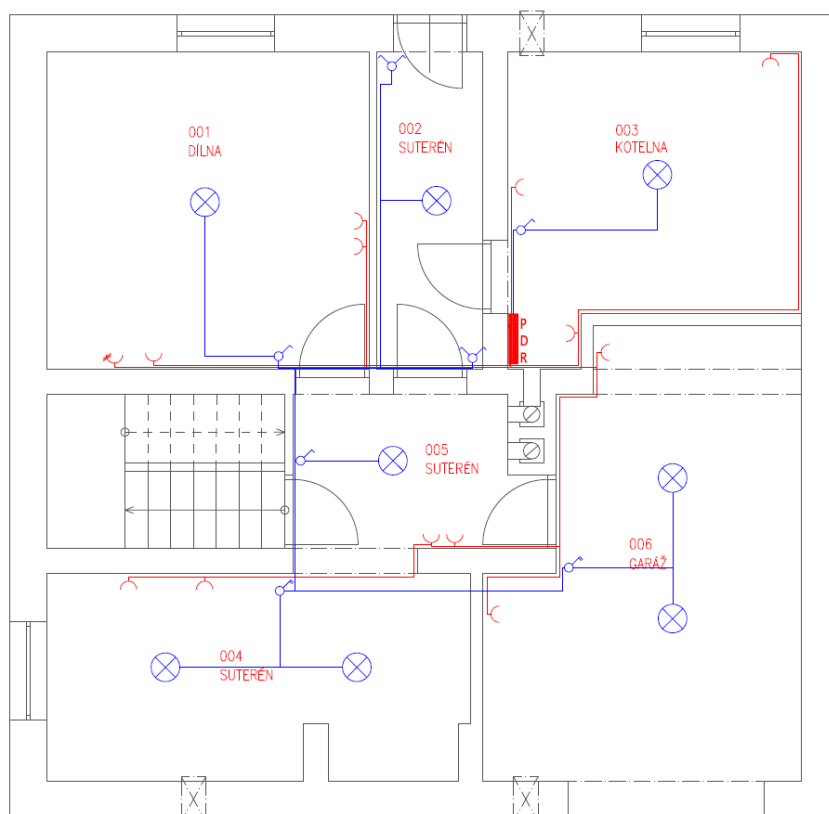
Obr. 21: Návrh zapojení podružného rozvaděče

10.2.3 Zapojení jednotlivých pater

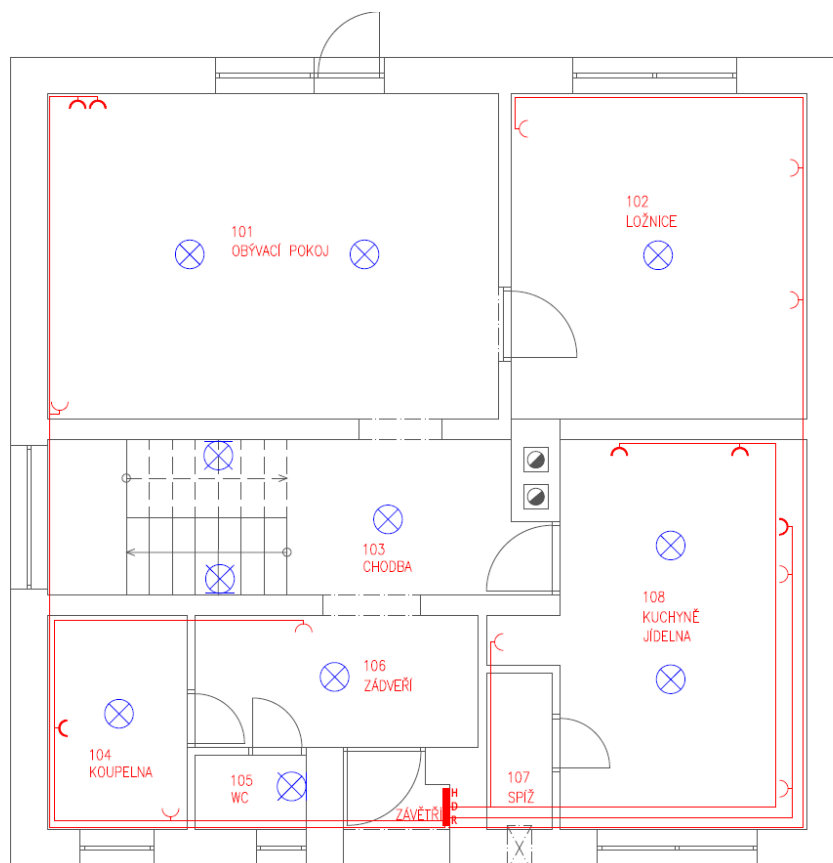
V 1PP jsou na rozdíl od 1NP a podkroví zakresleny i kabely k jednotlivým světelným okruhům, protože v 1PP jsou světla ovládána klasickými spínači. V 2NP a podkroví jsou kabely taženy ke světelným okruhům jednotlivě, protože budou řízeny pomocí KNX sběrnice.

Tab. 29: Použité symboly

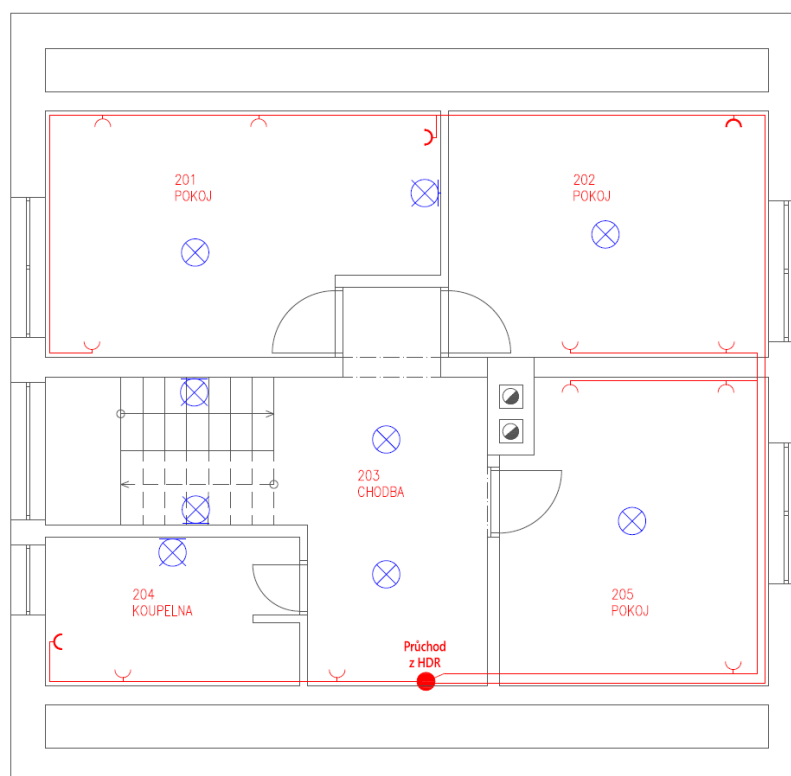
Symbol	Význam
	Osvětlovací těleso stropní
	Osvětlovací těleso nástěnné
	Zásuvka jednoduchá 230 V
	Zásuvka dvojitá 230 V
	Zásuvka 400 V
	Jednopolový vypínač
	Dvoupólový vypínač
	Schodišťový vypínač
	Hlavní domovní rozvaděč
	Podružný domovní rozvaděč
	Zásuvkový okruh
	Osvětlovací okruh



Obr. 22: Elektroinstalace 1PP



Obr. 23: Elektroinstalace 1NP



Obr. 24: Elektroinstalace podkrovní

Tab. 30: Cenová kalkulace silnoproudé instalace

Součást	Kusů/ metrů	Cena [Kč/kus]	Cena [Kč]
Zásuvka jednopólová	31	132	4092
Zásuvka dvoupólová	8	144	1152
Vypínač TANGO 1 pólový	3	147	441
Vypínač TANGO 2 pólový	2	187	374
Vypínač TANGO schodišťový	2	157	314
CYKY 3x1,5	122	13	1586
CYKY 3x2,5	111	20	2220
CYKY 5x2,5	10	34	340
CYKY 5x4	25	58	1450
CYKY 5x10	7	98	686
Proudový chránič 4 pólový	9	519	4671
Proudový chránič 2 pólový	4	419	1676
Jistič 10A	4	47	188
Jistič 16A	15	47	705
Jistič 20A	1	47	47
Jistič 3x40A	1	174	174
Jistič 3x25A	1	150	150
Jistič 3x20A	1	150	150
Jistič 3x16A	2	150	300
Celkem			20 716

11 INTELIGENTNÍ ELEKTROINSTALACE

Pro inteligentní elektroinstalace jsem vybral sběrníkový systém KNX. Tento systém je určen pro komfortní užívání budovy a především pro úsporu energie. Sběrníkové vedení bude provedeno pomocí krouceného páru, které využívá bezpečné nízké stejnosměrné napětí 29 V při maximálním proudovém odběru 0,32A. Pro napájení bude použit napájecí modul *ABB Řádový napájecí zdroj GHQ6310048R0111*, který je schopný napájet až 64 prvků.

11.1 Požadavky na řídicí systém

Požadavky na řízení u rodinného domu jsou uvažovány především pro řízení osvětlení (včetně možnosti stmívání), jelikož technická místnost je řízená vlastním PLC. Obývací pokoj, ložnice a pokoje v druhém patře budou mít možnost nastavení jasu, takže budou obsahovat tlačítkový spínač. Pro jednoduché spínání osvětlení (bez možnosti stmívání) budou použity klasické vypínače, které budou připojeny na jednotku binárních vstupů, která bude následně ovládat spínací akční člen, pomocí kterého budou spínána jednotlivá světla podle potřeby. Na schodišti bude instalován snímač pohybu a osvětlení. V případě, že snímač osvětlení vyhodnotí osvětlení jako nedostatečné a současně bude detekován pohyb na schodišti, dojde k automatickému sepnutí osvětlení. Schodiště bude ovšem také obsahovat tlačítkový spínač pro manuální sepnutí či vypnutí osvětlení dle potřeby. Další tlačítkový výstup bude v předsíni, kde bude možné při odchodu vypnout centrálně všechna světla.

Z jihovýchodní a jihozápadní strany budovy jsou umístěny elektricky ovládané žaluzie. Jejich ovládání bude zajištěno tlačítkovými spínači, které budou umístěny přímo v daných místnostech.

11.2 Popis řešení

Z ekonomického hlediska byly na řízení světelných okruhů, které mají funkci pouze zapínání a vypínání, použity běžné vypínače, které se používají pro spínání světel, nicméně tyto vypínače budou napojeny na modul binárních vstupů. KNX elektroinstalace bude provedena pouze pro 1NP a podkroví.

11.2.1 Prvky systému

Jednotlivé prvky systému jsou pro přehlednost uvedeny v tabulce (Tab. 31). Díky certifikaci KNXA je možné použít systém složený z různých prvků. Většina prvků v mém návrhu jsou vybrány od firmy *ABB*, nicméně součástí je taky snímač osvětlení a přítomnosti od firmy *Schneider Electric*.

Tab. 31: Prvky KNX systému

Prvek	Označení	Kusů	Cena/kus [Kč]	Cena [Kč]
Napájecí zdroj ABB	GHQ6310048R0111	1	5176	9814
Vypínač jednoduchý ABB tango	3553-01289 B1	10	147	1470
Vypínač dvojitý ABB tango	3553-05289 B1	1	144	144
Stmívač ABB 8 násobný	2CDG110025R0011	1	15703	15703
Akční žaluziový člen ABB 4 násobný	2CDG110028R0011	1	11622	11622
Spínací akční člen ABB 12 násobný	2CDG110137R0011	1	16865	16865
Binární vstup ABB 4 násobný	2CDG110006R0011	4	11055	44220
Tlačítkový spínač ABB 4 násobný	6117-0-0200	1	5060	5060
Tlačítkový spínač ABB 2 násobný	6116-0-0174	4	4168	16672
Snímač osvětlení a přítomnosti SE	MTN630919	2	8738	17476
Dotykový display ABB	6136-0-0185	1	44643	44643
Cena celkem				183 689

11.2.2 Řešení 1NP

V 1NP bude umístěna rozvodná skříň pro KNX, která bude v místnosti 106 – Zádveří. V jídelně bude umístěn dvojitý vypínač, který bude napojen do binárního vstupu a bude určen k ovládání jednotlivých světel. Binární vstup bude fungovat v takovém režimu, že při změně stavu na vypínač vyšle signál pro změnu stavu na akční spínací člen, aby sepnul či rozeplnul patřičný výstup. Stejným principem bude fungovat i řízení osvětlení na chodbě, zádveří, koupelně a na WC. Osvětlení schodiště bude řízeno automaticky podle intenzity osvětlení a detektoru pohybu, ale současně bude i řízena tlačítka, která budou moci přepsat

aktuální stav svítí/nesvítí. V obývacím pokoji bude umístěn tlačítkový spínač 4 násobný, kdy první dvojice tlačítek bude sloužit pro spínání a stmívání obou světel jednotlivě, přičemž stisknutí tlačítka znamená zapnutí/vypnutí a dlouhé podržení znamená zvýšení/snížení jasu. Další dvojice tlačítek poté slouží k ovládání žaluzií, a funguje obdobným způsobem. Krátké stisknutí znamená zatemnění, odtemnění a dlouhý stisk postupně zatemňuje/roztemňuje. V ložnici bude umístěn tlačítkový spínač 2 násobný, přičemž první dvojice tlačítek bude sloužit k řízení osvětlení a druhá dvojice k řízení žaluzií. V zádveří bude umístěno ještě tlačítko pro centrální vypnutí všech světel v domě.





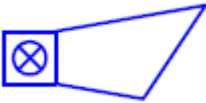

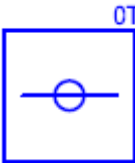
11.2.3 Řešení podkroví

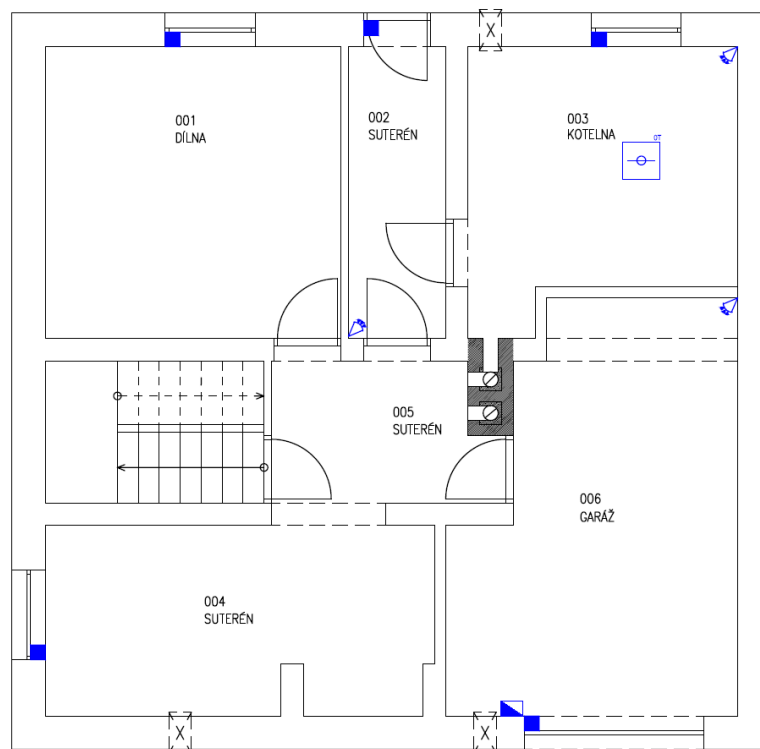
Podkroví bude řešeno obdobně jako 1NP. Chodba a koupelna budou řízeny pomocí vypínačů napojených na binární vstup, který bude řídit akční spínací člen. Pokoje 202,201 a 205 budou řešeny stejným způsobem jako ložnice v 1 NP.

12 PZTS A EPS

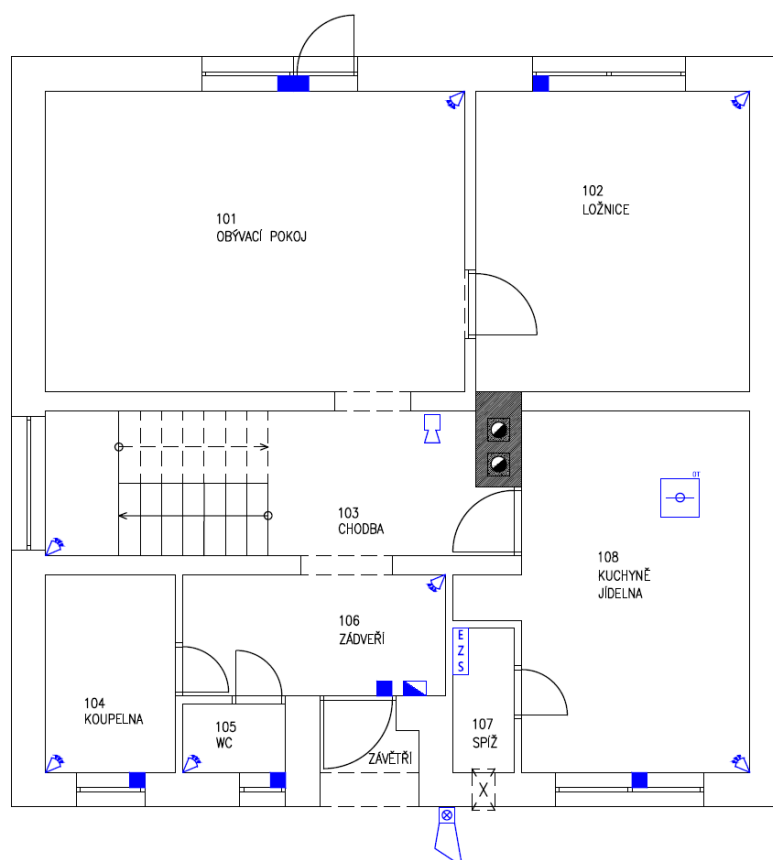
Zabezpečovací systém bude řešen pomocí sběrnice zabezpečovací ústředny *Jablotron JA-101KR-LAN*, která je vybavena GSM modulem a je možné ji připojit na LAN. Ústředna je umístěna ve spíži, aby byla špatně přístupná pro případného narušitele. V budově budou instalovány pasivní infračervené detektory pohybu v místě možného výskytu narušitele. Další zabezpečení poskytnou magnetické kontakty na všech výplních obvodových otvorů. Klávesnice je umístěna za vchodovými dveřmi a v garáži. Na vnějším plášti budovy je umístěna venkovní siréna a vnitřní siréna je umístěna v 1NP na chodbě. Detektory kouře jsou umístěny pouze v místech, kde je zvýšené riziko vzniku požáru, jedná se o kuchyni a technickou místnost. Rozmístění prvků je zobrazeno na obrázcích (Obr. 25, Obr. 26, Obr. 27).

Tab. 32: Schématické značky PZTS a EPS

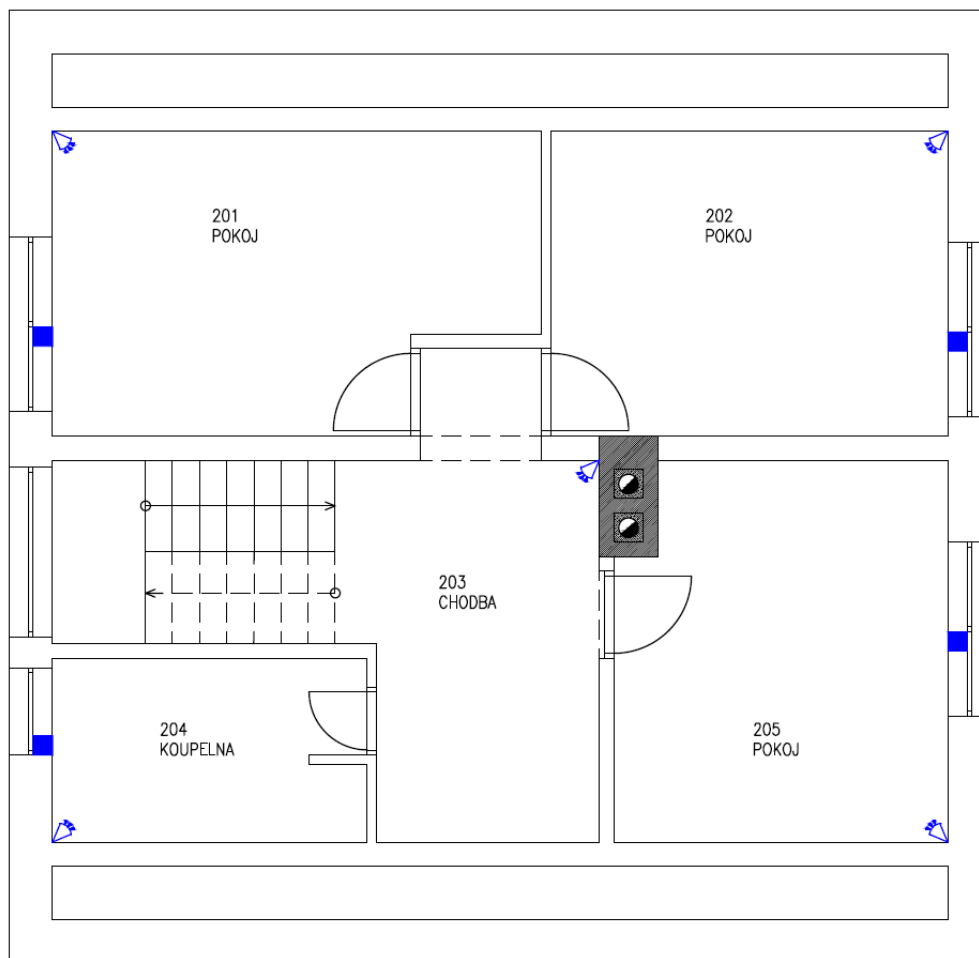
Typ	Značka
Ústředna	
Magnetický kontakt	
PIR	
Siréna vnitřní	
Siréna venkovní	
Klávesnice	
Požární optický a teplotní detektor	



Obr. 25: Rozmístění prvku PZTS a EPS v 1PP



Obr. 26 Rozmístění prvku PZTS a EPS v 1NP



Obr. 27: Rozmístění prvku PZTS a EPS v podkrovní

Tab. 33: Seznam použitých součástí pro PZTS a EPS včetně cen a počtu kusů

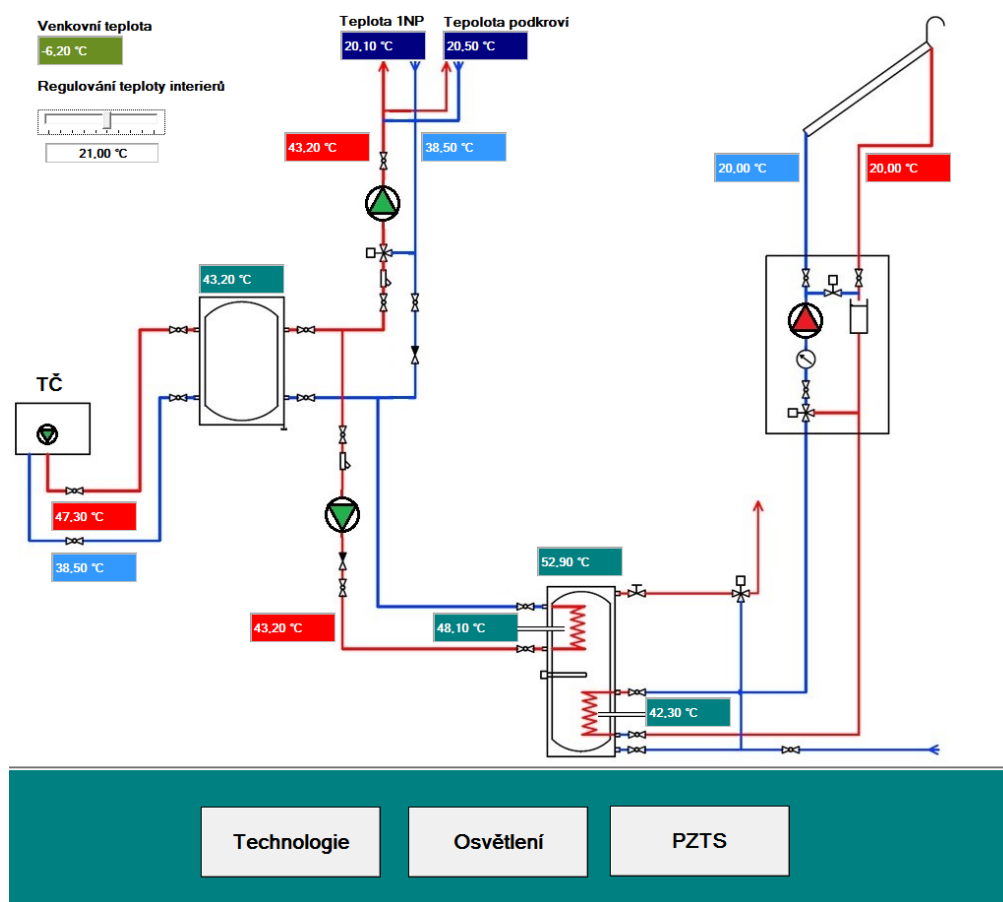
Typ	Název	Kusů	Cena/Kus [Kč]	Cena [Kč]
Ústředna	JA-101KR-LAN	1	8987	8987
Magnetický kontakt	SA-203	15	74	1110
PIR	JA-110P	12	472	5664
Siréna vnitřní	JA-110A	1	464	464
Siréna venkovní	JA-111A-BASE-RB	1	1070	1070
Klávesnice	JA-112E	2	1093	2186
Požární optický a teplotní detektor	JA-111ST	2	874	1748
Cena				21 229

13 VIZUALIZACE

Vizualizace pomocí SCADA systému je určena primárně k zobrazování aktuálního stavu technologii, osvětlení, PZTS a EPS v budově, ale rovněž umožňuje měnit jisté parametry. Pro návrh vizualizace jsem použil program *Reliance 4*. K vizualizaci je možné se připojit vzdáleně, takže je možné kontrolovat stav například na chytrém telefonu, tabletu či jiném zařízení s přístupem na internet. Přístup je zabezpečen pomocí uživatelského jména a hesla. Pro zobrazení vizualizace je primárně určen dotykový display ABB, který je součástí KNX.

13.1 Technologie

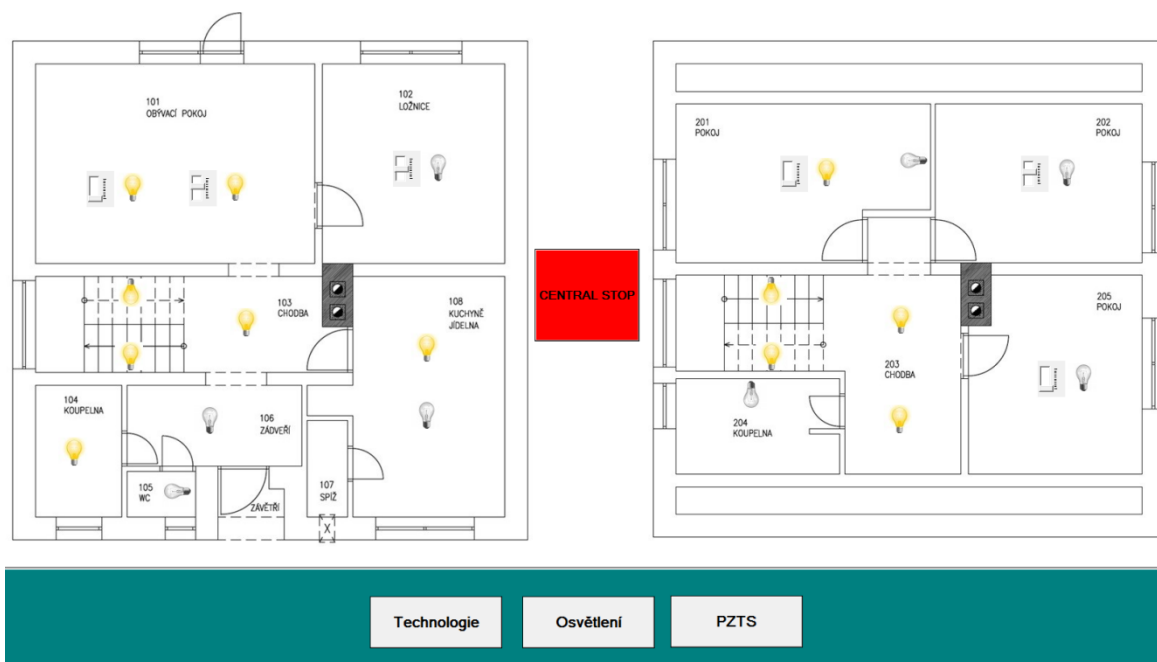
Vizualizace technologie má pouze jedinou možnost měnit parametru a to teploty interiéru pro případ, že chceme zvýšit či snížit teplotu v celém objektu. Zobrazované parametry jsou z veškerých teplotních čidel, které jsou v systému vytápění a TV instalovány. Rovněž je možné sledovat, zda jsou čerpadla v chodu či nikoli (pokud je zbarvení červené, tak není zapnuto, pokud zelené tak je zapnuto).



Obr. 28: Vzhled vizualizace technologie

13.2 Osvětlení

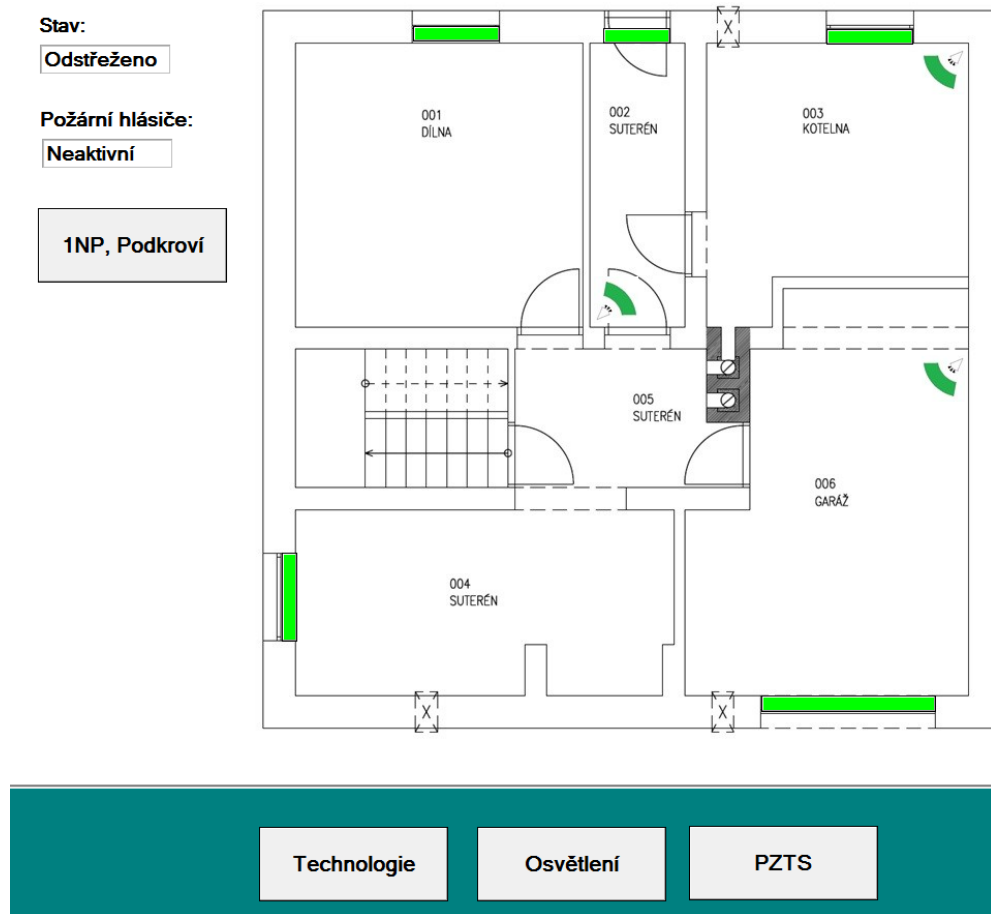
Ve vizualizačním okně osvětlení máme možnost zapínat a vypínat jednotlivá světla, případně ve vybraných místnostech je možné ovládat intenzitu osvětlení (jedná se o místnosti uvedené v kapitole 11.2). Rovněž je zde umístěno velké tlačítko CENTRAL STOP, které vypne osvětlení ve všech místnostech.



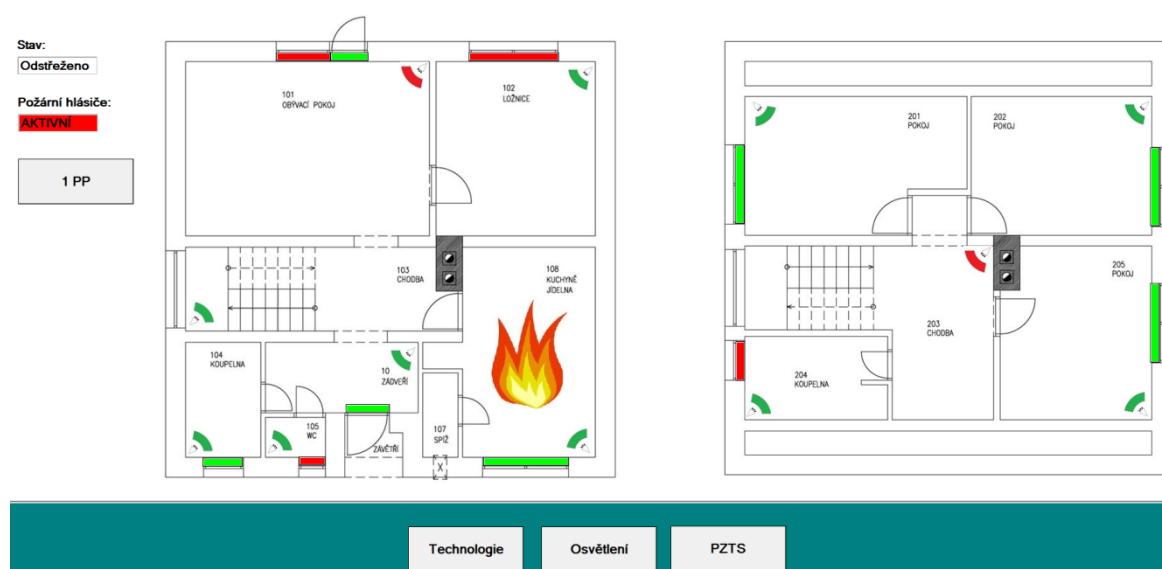
Obr. 29: Vzhled vizualizace osvětlení

13.3 PZTS a EPS

U vizualizace PZTS a EPS jde pouze o zobrazování aktuálního stavu budovy a to z bezpečnostních důvodů. Nelze tedy měnit žádnou hodnotu. Tato vizualizace je rozdělená na dvě části a to na 1PP a na obývané patra 1NP a podkroví, které jsou na jedné obrazovce. Zobrazované jsou magnetické kontakty na oknech a dveřích, detektory pohybu a požárně optický a teplotní detektor. U magnetických kontaktů je jejich stav zobrazen pomocí barev. V případě že je červený, jedná se o rozepnutý magnetický kontakt. Pokud je zelený tak okno či dveře jsou zavřené. Na stejném principu je zobrazován i výstup z PIR, tedy pokud jsou červené, je detekována přítomnost v místnosti, pokud jsou zelené, není detekována přítomnost. Požárně optický a teplotní detektor není za klidového stavu zobrazován nijak, v případě že dojde k požáru je v dané místnosti zobrazen obrázek plamenu.



Obr. 30: Vizualizace PZTS a EPS v 1PP



Obr. 31: Vizualizace PZTS a EPS v 1NP a podkroví

14 FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM

Využití fotovoltaických systémů stále stoupá, jelikož se jedná o obnovitelný zdroj energie. V posledních letech byla díky dotační politice výstavba fotovoltaických elektráren velmi lukrativní, a proto vznikly velké zastavěné plochy těmito elektrárnami. Tato volba dle mého názoru nebyla nejvhodnější, protože by se ve většině případů takto zastavená plocha dala využít lepším způsobem (především zemědělským). Nicméně tento rozmach a velký prodej fotovoltaických systémů zapříčinil snížení jejich ceny. Střechy budov jsou většinou nevyužity, a proto je možné na ně umístit fotovoltaické panely.

Při výběru fotovoltaického systému jsem hledal poskytovatele této technologie na českém trhu a jako nejlepší volbou mi vyšla firma *SunWave*, a proto jsem zvolil jejich fotovoltaickou montážní sadu *SW 5kW P*. Tato sada obsahuje 20 kusů fotovoltaických panelů *polykrystal 250 Wp*, měnič *Kostal 5.5 DSC*, modulace řazení a montážní prvky. Poloha této instalace je 32,8 m². Fotovoltaický systém bude instalován na jihovýchodní straně střechy, která má sklon 38°. Cena tohoto systému je 175 000 Kč.

Pro výpočet ročního zisku fotovoltaického systému jsem použil online kalkulačtor *Photovoltaic Geographical Information System*. [26]. Výsledky jsem uvedl v tabulce (Tab. 34).

Tab. 34: Výsledky zisků fotovoltaiky

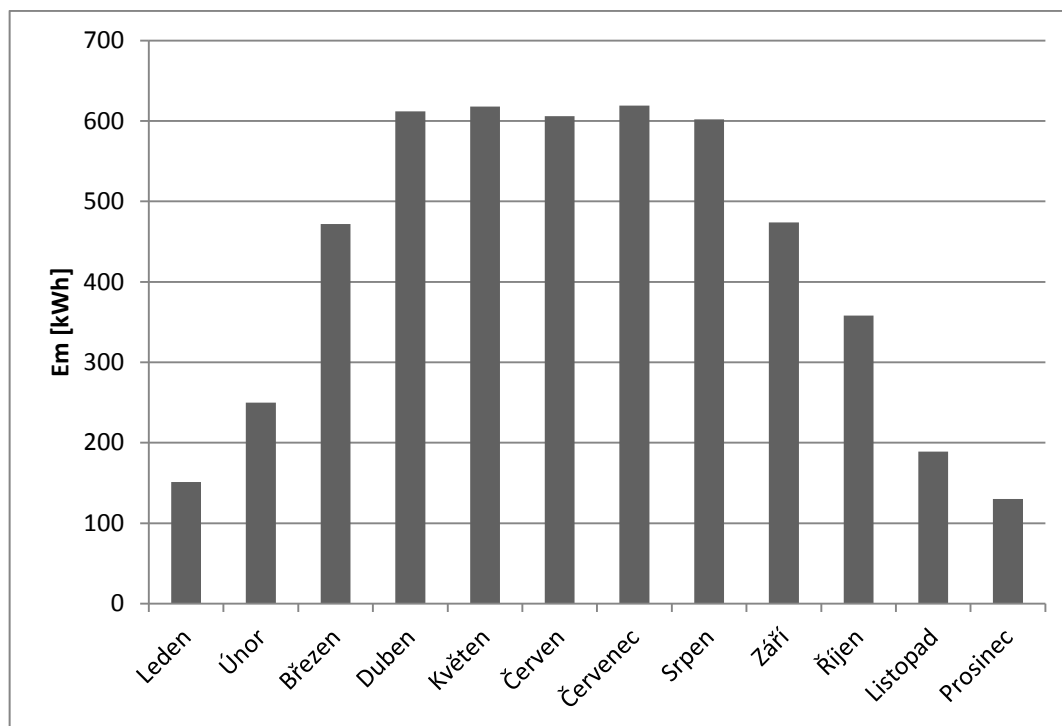
Měsíc	E_d	E_m	H_d	H_m
	[kWh]		[kWh/m ²]	
Leden	4,86	151	1,14	35,4
Únor	8,94	250	2,15	60,1
Březen	15,20	472	3,81	118,0
Duben	20,40	612	5,37	161,0
Květen	19,90	618	5,37	166,0
Červen	20,20	606	5,51	165,0
Červenec	20,00	619	5,50	170,0
Srpen	19,40	602	5,31	165,0
Září	15,80	474	4,17	125,0
Říjen	11,60	358	2,94	91,0
Listopad	6,29	189	1,53	45,9
Prosinec	4,18	130	0,99	30,6
Roční průměr	13,90	423	3,65	111
Celkem za rok	5 081		1 333	

Kde: E_d – průměrná denní produkce energie [kWh],

E_m – průměrná měsíční produkce elektřiny [kWh],

H_d – průměrné denní množství intenzity slunečního záření [kWh/m²],

H_m – průměrné měsíční množství intenzity slunečního záření [kWh/m²].



Graf 5: Průměrná měsíční produkce elektřiny

14.1 Ekonomické zhodnocení

Pro ekonomické zhodnocení budeme hodnotit rovněž další aspekty, jako jsou diskont a inflace. Cena elektrické energie pro celou budovu při tarifu pro tepelné čerpadlo je 1,6 Kč/kWh 20 hodin denně, 2 Kč/kWh 2 hodiny denně. Program zelná úsporám už nadále nově postavené solární zdroje nezvýhodňuje pro výkup el. energie, a proto je výkupní cena přibližně 0,8 Kč/kWh. Při výpočet prosté doby návratnosti, jsem předpokládal, že 75% energie se využije a 25% se prodá. Rovněž jsem zohlednil snižování účinnosti fotovoltaického systému, které uvádí výrobce a tento výpočet uvedl v tabulce (Tab. 35).

Tab. 35: Prostá doba návratnosti fotovoltaického systému

Rok	Výkon [kWh]	Účinnost	Využitá energie [Kč/rok]	Prodaná energie [Kč/rok]	Roční úspora [Kč/rok]	Umořování investice [Kč]
1	5081	1	6478	1016	7494	-167506
2	5030	0,99	6413	1006	7420	-160086
3	4979	0,98	6349	996	7345	-152741
4	4929	0,97	6284	986	7270	-145472
5	4878	0,96	6219	976	7195	-138277
6	4827	0,95	6154	965	7120	-131157
7	4776	0,94	6090	955	7045	-124113
8	4725	0,93	6025	945	6970	-117143
9	4675	0,92	5960	935	6895	-110248
10	4624	0,91	5895	925	6820	-103428
11	4588	0,903	5850	918	6768	-96660
12	4553	0,896	5805	911	6715	-89945
13	4517	0,889	5759	903	6663	-83283
14	4481	0,882	5714	896	6610	-76672
15	4446	0,875	5668	889	6558	-70115
16	4410	0,868	5623	882	6505	-63610
17	4375	0,861	5578	875	6453	-57157
18	4339	0,854	5532	868	6400	-50757
19	4304	0,847	5487	861	6348	-44409
20	4268	0,84	5442	854	6295	-38113
21	4232	0,833	5396	846	6243	-31871
22	4197	0,826	5351	839	6190	-25680
23	4161	0,819	5306	832	6138	-19542
24	4126	0,812	5260	825	6086	-13457
25	4090	0,805	5215	818	6033	-7424
26	4055	0,798	5170	811	5981	-1443
27	4019	0,791	5124	804	5928	4485
28	3984	0,784	5079	797	5876	10361
29	3948	0,777	5034	790	5823	16184
30	3912	0,77	4988	782	5771	21955
Celkem [Kč]			170 249	26 706		

Pro výpočet reálné doby návratnosti investice budu uvažovat tyto hodnoty:

Průměrný roční výnos $CF = 6565$ Kč, celková investice $IN = 17500$ Kč, Diskont $r = 5\%$, inflace $\alpha = 2\%$, doba životnosti projektu $t=30$ let.

$$T_d = \frac{\ln \left[1 + \frac{IN}{CF} \cdot (\alpha - r) \right]}{\ln \frac{1 + \alpha}{1 + r}} = \frac{\ln \left[1 + \frac{175000}{6565} \cdot (0,02 - 0,05) \right]}{\ln \frac{1 + 0,02}{1 + 0,05}} = 55,5 \text{ let}$$

Čistá současná hodnota:

$$\begin{aligned} NPV &= CF \cdot \frac{(1 + r - \alpha)^t - 1}{(r - \alpha) \cdot (1 + r + \alpha)^t} - IN = \\ &= 6565 \cdot \frac{(1 + 0,05 - 0,02)^{30} - 1}{(0,05 - 0,02) \cdot (1 + 0,05 + 0,02)^{30}} - 175000 \cong -46323 \text{ Kč} \end{aligned}$$

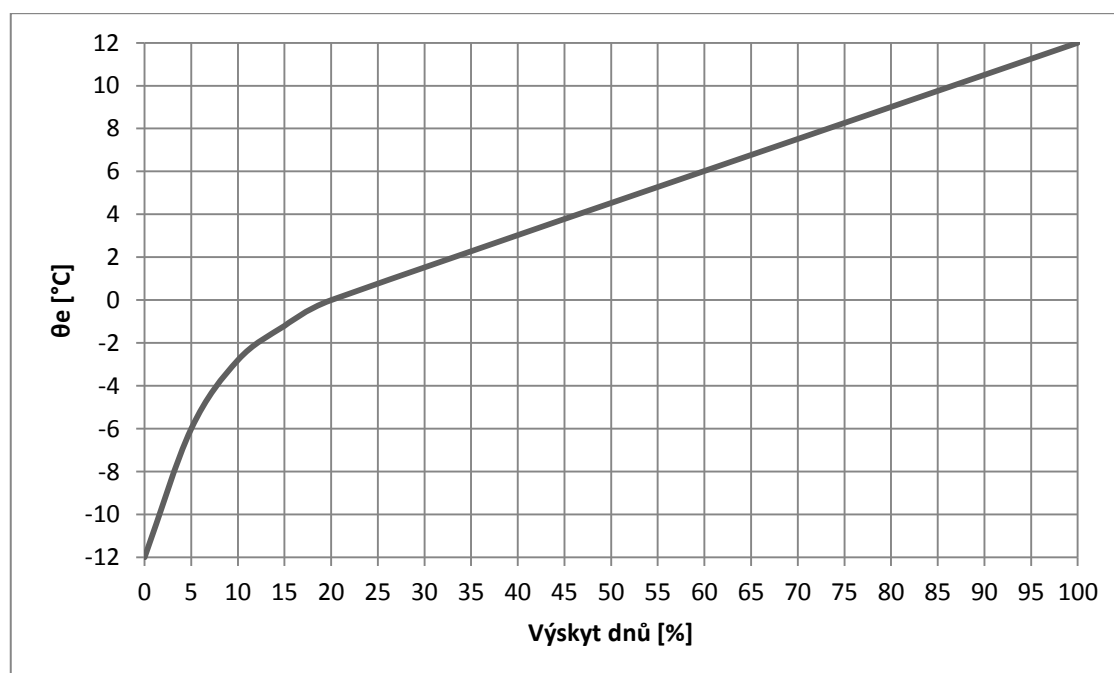
Čistá současná hodnota reprezentuje budoucí hodnotu peněžních toků, případného výdaje a také zohledňuje čas. Výsledek -46 323 Kč jasně ukazuje, že investice není přínosem a proto nedoporučuji její využití.

15 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Ekonomické hodnocení slouží investoru k posouzení výhodnosti daného návrhu a zajistí velmi ovlivňuje rozhodnutí, zda bude systém použit. U domu projektovaného jako inteligentní budovu s nízkou spotřebou energií jsou většinou vstupní náklady vysoké, což může investora odradit. Pokud se investor rozhodne pro tuto volbu, musí s těmito náklady počítat. Celý projekt byl ve fázi projektování zvažován nejen z technického, ale i z ekonomického hlediska takovým způsobem, aby byly minimalizovány pořizovací náklady, ale současně s možností pokud možno co největších úspor.

15.1 Zhodnocení vytápění a přípravy TV

Pro projekt bylo z ekonomického a ekologického hlediska vybráno tepelné čerpadlo jako obnovitelný zdroj pro vytápění a přípravu teplé vody. Výpočet spotřeby energie pro vytápění a přípravu TV jsem provedl pomocí ročních průměrných venkovních teplot, které jsou uvedeny v topenářské příručce [27] (Graf 6).



Graf 6: Rozložení průměrných teplot v otopném období

Tab. 36: Spotřeba energie na vytápění

Teplotní rozmezí [°C]		Počet dní [%]	Počet dní	Průměrné tepelné ztráty [kW]	Účinnost / Průměrný COP	Ztráty v teplotním rozmezí [kW]	Cena vytápění pomocí EL [Kč]	Cena vytápění pomocí ZP [Kč]
od	do							
-12	-10	1	3	7,5	0,97	540,6	1170,3	653,5
-10	-8	2,5	6	7,0	0,97	1011,4	2189,6	1222,8
-8	-6	1,5	4	6,5	1,93	627,8	520,4	758,9
-6	-2	7,5	17	5,8	2,17	2371,5	1752,6	2867,1
-2	0	7,5	18	5,1	2,39	2197,1	1470,9	2656,3
0	13	80	186	3,3	2,86	14595,2	8165,1	17645,6
Celkem						21 344	15 269	25 804

Tab. 37: Spotřeba energie na přípravu TV

Teplotní rozmezí		Počet dní	Účinnost / Průměrný COP	Potřeba energie na ohřev TV [kWh]	Cena přípravy TV pomocí TČ [Kč]	Cena přípravy TV současným způsobem [Kč]
-12	-8	9	0,97	140,4	232	528
-8	0	38	2,1	592,8	480	2231
0	13	187	3,3	1528,7	788	5753
13	20	131	3,5	655,1	318	2465
Celkem				2 917	1 586	10 450

Z tabulky (Tab. 36) vyplývá, že oproti stávajícímu zdroji zemního plynu ušetříme pomocí TČ 10 535 Kč/rok. V tabulce (Tab. 37) jsou uvedeny náklady na přípravu TV. Abychom dostaly přesnější reálné roční úspory, tak od celkové potřeby TV odečteme zisk ze solárních kolektorů. Z výpočtu tedy vyplývá, že roční úspory na přípravu TV jsou díky TČ 8 864 Kč. Do úspory TČ můžeme ještě zahrnout snížení ceny elektrické energie pro běžné domácí spotřebiče díky tarifu, který lze získat pouze pro TČ. Průměrná roční spotřeba je 3 500 kWh, při ceně 3,5 Kč/kWh. Nepřímá roční úspora TČ na elektrické energii je tedy dalších 6 300 Kč. Pokud sečteme všechny úspory, dostaneme celkový průměrný roční výnos tepelného čerpadla $CF=25\ 699\text{Kč}$. Výpočet výnosu solárního kolektoru je uveden v tabulce v kapitole 9.3.2.

Tab. 38: Ekonomické hodnocení vytápění a přípravy TV

	Tepelné čerpadlo	Solární systém
Investice IN	153 170 Kč	42 322 Kč
Průměrný roční výnos CF	25 699 Kč	9 720 Kč
Doba hodnocení t	30 let	30 let
Diskont r	5%	5%
Inflace α	2%	2%
Prostá doba návratnosti T	5,96 let	4,35 let
Diskontovaná doba návratnosti T_d	6,80 let	4,42 let
Čistá současná hodnota NPV	350 542 Kč	258 499 Kč
Vnitřní výnosové procento IRR	18,6 %	24,9%

Z výpočtu tedy vychází, že roční úspora na energiích činí 30 420 Kč. Toto je jisté nezanedbatelná částka v rodinném rozpočtu. Vnitřní výnosové procento IRR vyšlo pro tepelné čerpadlo 18,6% a pro solární kolektor 24,9% což je relativně výhodné.

15.2 Celkové náklady na projekt

Všechny projektované systémy neslouží ke snížením spotřeby energií v rodinném domě, ale slouží ke zvýšení bezpečnosti a komfortu užívání objektu, a proto nemůžeme počítat jejich ekonomické zhodnocení. Do zhodnocení ekonomické úspory nemůžeme také započítat například otopná tělesa, jelikož se musí vyměnit bez ohledu na zbytek systému, protože jsou na konci své životnosti a začínají se projevovat problémy jako je koroze. Rovněž zásobník na TV je již za hranicí své životnosti a musí se vyměnit, proto jsem ji nezohledňoval v předchozích výpočtech. Celkové přibližné náklady na tento projekt jsou uvedeny v tabulce (Tab. 39) a jsou v nich zahrnuty nejen pořizovací náklady, ale rovněž i odhadovaná cena montáže. Přesné ceny nelze určit, protože montáž může být odlišná.

Tab. 39: Celkové náklady

Část projektu	Cena [Kč]
Vytápění a příprava TV	378 442
Silnoproudá instalace	32 716
KNX	218 689
PZTS a EPS	26 229
Celkem	656 076 Kč

ZÁVĚR

Cílem mé diplomové práce bylo navrhnout energeticky úspornou budovu s využitím obnovitelných zdrojů energie. Důraz byl kladen především na kontrolu a případné úpravy stavební konstrukce budovy a na návrh vhodného systému techniky prostředí.

V teoretické části jsem popsal energeticky úsporné domy, do jejichž skupiny spadají nízkoenergetické domy, pasivní domy a domy s téměř nulovou spotřebou energie. Dále jsem se zabýval požadavky na vnitřní prostředí, které má velký vliv na komfort užívání budovy, ale také na zdravotní stav obyvatel. Soustředil jsem se především na tepelnou pohodu a hygienické parametry. Další součástí teoretické části práce byly vnější klimatické podmínky, které jsou velmi důležité z hlediska výpočtu tepelných ztrát budovy. Následujícím krokem byl popis stavební fyziky z hlediska šíření tepla a vlhkosti konstrukcí. Popsán byl rovněž výpočet tepelných ztrát. Okrajově jsem se také zabýval tepelnými čerpadly a sběrníkovým systémem KNX.

V praktické části jsem začal popisem budovy a posouzením pláště budovy. Při tomto posouzení jsem došel k závěru, že z ekonomického hlediska je stavební úprava v podobě zateplení obvodových zdí nevýhodná. Při výpočtu tepelné stability budovy v letním období jsem zjistil, že budovu není potřeba strojně chladit.

Největší důraz jsem kladl na návrh vhodného systému vytápění a přípravy teplé vody. V této části práce jsem hledal nejvhodnější zdroj tepla na vytápění, což bylo tepelné čerpadlo *Mitsubishi Power Inventer*. Pro vytápění jsem navrhl teplotní spád 50/40 °C. Teplota v místnostech je primárně řízena pomocí třicestného ventilu (ekvitermní regulace).

Návrh přípravy teplé vody kladl rovněž důraz na ekonomickou výhodnost investice do solárních kolektorů. Při tomto návrhu jsem zvažoval výhodnost použití 2 nebo 3 solárních kolektorů. Dle ekonomického výpočtu jsem došel k závěru, že 2 solární kolektory jsou vhodnější volbou.

Hydraulická soustava byla navrhována takovým způsobem, aby se dalo využít tepelné čerpadlo primárně pro vytápění, ale současně i pro přípravu TV. Oběhová čerpadla *GRUNDFOS ALPHA2* jsou velmi vhodnou volbou díky své nízké spotřebě elektrické energie. Ovládání hydraulické soustavy je pomocí *PLC Teco Foxtrot CP-1006*.

Silnoproudá část práce je zaměřena na rekonstrukci elektrických rozvodů v domě. Hlavní i podružný domovní rozvaděč obsahují patřičné jištění a proudovou ochranu-Návrh rozvodů byl dělán pro zásuvkové okruhy ale i pro osvětlení.

Hlavním cílem inteligentní elektroinstalace je zvýšit komfort obyvatel domu. Tento návrh je založen na sběrnici KNX a je řešen pouze pro první nadzemní podlaží a podkroví, jelikož KNX zařízení jsou drahé a pro málo využívaný suterén jsou nepotřebné.

Systémy PZTS a EPS je navrženy samostatně pomocí ústředny *JABLOTRON JA-101KR-LAN*. Jednotlivé prvky jsou umístěny tak, aby byla vysoká pravděpodobnost detekování pohybu případného narušitele.

U fotovoltaických panelů jsem vypočítal, že za stávajících podmínek, kdy už nadále není možné získat dotaci zelená úsporám na nově vybudované fotovoltaické elektrárny, není ekonomicky výhodné jejich pořízení.

Po zhodnocení celého projektu jsem zjistil, že tepelné čerpadlo a solární kolektory jsou ekonomicky velmi vhodné pro použití v rodinném domě. Celkové náklady na projekt jsou přibližně 656 000 Kč. Přesné náklady nebylo možné určit z důvodu nepřesných cen montáže.

Diplomová práce byla velmi dobrou zkušeností z hlediska snahy navrhnout vhodný integrovaný systém do rodinného domu, ve kterém bydlím. Snažil jsem se vybírat co nejvhodnější systémy a technologie aby byl projekt použitelný.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN 730540-2. *Tepelná ochrana budov - Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [2] Ing. Karel Kabele, CSc., Ing. Zuzana Veverková: Modelování operativní teploty. *Tzb-info* [online]. 2004 [cit. 2015-13-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1422-modelovani-operativni-teploty>
- [3] Rychlost proudění vzduchu. *Khshk* [online]. 2015 [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: http://www.khshk.cz/e-learning/kurs3/1110rychlost_proudni_vzduchu.html
- [4] Proudění vzduchu. *Osu* [online]. 2015 [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: http://artemis.osu.cz/MMi/meteo1/diplomka/Ramec2_soubory/AAA/proudeni.html
- [5] ČSN EN ISO 7730. Ergonomie tepelného prostředí. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [6] Větrání budovy a šíření vzduchu podle ČSN 73 0540-2. *Tzb-info* [online]. 2015 [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/7981-vetrani-budovy-a-sireni-vzduchu-podle-csn-73-0540-2>
- [7] Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.: Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1. *Tzb-info* [online]. 2012 [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/8239-pozadavky-na-vetrani-obytnych-budov-dle-csn-en-15-665-z1>
- [8] JOKL, M. V. Teorie vnitřního prostředí budov. 2. vyd. Skripta ČVUT v Praze. Praha, 1993. 261s. ISBN 80-01-00481-3
- [9] MUDr. Ariana LAJČÍKOVÁ, CSc: Vládní nařízení č. 178/2001 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci. *Tzb-info* [online]. 2001 [cit. 2015-03-08]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/692-vladni-narizeni-c-178-2001-sb-kterym-se-stanovi-podminky-ochrany-zdravi-zamestnancu-pri-praci>
- [10] ČSN EN 12464-1. *Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů. Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [11] 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.
- [12] *Meteocentrum* [online]. 2012 [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/tlak-vzduchu.php>

- [13] SZÉKYOVÁ, Marta. Větrání a klimatizace. 1. vyd. Bratislava: Jaga, 2006, 359 s. ISBN 80-807-6037-3.
- [14] TZB [online]. 2012 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: [3] <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/74-slozeni-atmosferickeho-vzduchu>
- [15] Meteocentrum [online]. 2012 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/vitr.php>
- [16] Využití sluneční energie. Ekodum. [online]. 2005 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.ekodum.cz/energy/sun/info.php>
- [17] ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách: Výpočet tepelného výkonu*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [18] MasterThermTepelná čerpadla Master Therm - ekologické vytápění domů. 2012. *Master Therm* [online]. [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://www.mastertherm.cz/princip-tepelneho-cerpadla>
- [19] Solární kolektory - TZB-info. 2015. *TZB - info* [online]. [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory>
- [20] Regulus - solární ohřev. 2014. *Regulus* [online]. [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz/cz/ploche-kolektory>
- [21] Fotovoltaika - TZB-info. 2015. *TZB-info* [online]. [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika>
- [22] HALUZA, Miroslav, MACHÁČEK, Jan. *Klasická versus inteligentní elektroinstalace*. Tzb-info [online]. [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/domovni-elektroinstalace/7842-klasicka-versus-inteligentni-elektroinstalace>
- [23] Topologie KNX. *HW.cz* [online]. 5. Srpen 2013 [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/energetika-a-smart-grids/topologie-knx.html>
- [24] VÁCLAV, Mahdal. 2012. *Integrovaný systém v budově - Inteligentní rodinný dům - Řídicí systém iNELS*. Zlín. Diplomová práce. UTB FAI.
- [25] ČSN 06 0320. *Tepelné soustavy v budovách: Příprava teplé vody - Navrhování a projektování*. 2006. Praha: Český normalizační institut.
- [26] Photovoltaic Geographical Information System. 2015. *PGIS* [online]. [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>

- [27] VALENTA, V. *Topenářská příručka 1, 2, 3*. Praha: Agentura ČSTZ, 2007. ISBN 978-80-86028-13-2.
- [28] ČSN 33 2130. *Požadavky na vnitřní elektrické rozvody*. 2009. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [29] ČSN 33 2180. *Elektrotechnické předpisy ČSN. Připojování elektrických přístrojů a spotřebičů*. 1980. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [30] Úspory tepla - denostupně. 2001. ČECH, Ing. Pavel. *TZB-info* [online]. [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/717-uspory-tepla-denostupne>
- [31] DANIELS, K.: *TECHNIKA BUDOV*. Jaga Group, v.o.s. Bratislava 2003. ISBN 80-88905-63-X
- [32] ASHRAE HANDBOOK . Díl 1 – 4 . American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. 1791 Tuttle Circle, N.E., Atlanta, GA 30 329. ISBN 1-931862-73-7. ISSN 1549-2370.
- [33] CHYSKÝ, J., HEMZAL, K. a kol.: *Větrání a klimatizace*. Technický průvodce. ČMT Praha 1993. ISBN 80-901574-0-8
- [34] RECKNAGEL – SPRENGER – SCHRAMEK – *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik*. Ouldenbourg Verlag GmbH, München, 2003. ISBN 3-8356—3104-7
- [35] KŘEČEK, S. a kol.: *Příručka zabezpečovací techniky*. Cricetus, 2003. ISBN 80-902938-2-4
- [36] MERZ, H., HANSEMANN, T., HUBNER, C.: *Automatizované systémy budov*. GRADA 2007. ISBN 978-80-247-2367-9
- [37] Tepelná čerpadla. 2014. *Zubadan* [online]. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.zubadan.cz/>
- [38] *Dražice člen skupin NIBE* [online]. 2012. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.dzd.cz/cs>
- [39] *ELIMA - elektroinstalační materiál* [online]. 2015. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: www.elima.cz
- [40] *TZB-info - Stavebnictví, úspor energií, technická zařízení budov* [online]. 2015. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/>
- [41] *Topení, Voda, Plyn, Sanitární technika, Kanalizace* [online]. 2015. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.topenilevne.cz/>

- [42] *Korádo - Topení, vytápění a radiátory* [online]. 2014. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.korado.cz>
- [43] VOJÁČEK, Antonín. *Sběrnice KNX pro řízení budov - I.část. Automatizace.hw.cz* [online]. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2006061001>
- [44] *Regulus - Tepelná čerpadla, solární ohřev vody, úsporné topení* [online]. 2014. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

1NP	První nadzemní podlaží.
1PP	První podzemní podlaží.
CdTe	Kadmium-telurid.
CIS	Měď, indium, selen.
CISGS	Měď, indium, galium, selen.
CO	Oxid uhelnatý.
COP	Coefficient Of Performance.
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance.
ČSN	Česká technická norma.
EBIA	European Installation Bus Assotiation.
EIB	European Installation Bus.
EPS	Elektrická požární signalizace.
FSK	Frequency Shift Keying.
GSM	Groupe Spécial Mobile.
HDR	Hlavní domovní rozvaděč.
ISO	International Organization for Standardization.
KNX	Konnex.
LAN	Local Area Network.
LED	Light-Emitting Diode.
m.n.m.	Metry nad mořem.
NO _x	Oxidy dusíku.
NPK	Nejvyšší přípustná koncentrace.
OSI	Open Systems Interconnection.
PDR	Podružný domovní rozvaděč.

PEL	Přípustný expoziční limit.
PLC	Programmable Logic Controller.
PMV	Predicted Mean Vote.
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied.
PZTS	Poplachové zabezpečovací a tísňové systémy.
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition.
SO ₂	Oxid siřičitý.
SMS	Short message service.
TČ	Tepelné čerpadlo.
TV	Teplá voda.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Sluneční geometrie	25
Obr. 2: Náčrty základní topologie [23]	40
Obr. 3: Satelitní obrázek řešeného rodinného domu.....	43
Obr. 4: Jihovýchodní strana	44
Obr. 5: Jihozápadní strana	44
Obr. 6: Severozápadní strana	44
Obr. 7: První podzemní podlaží	45
Obr. 8: První nadzemní podlaží	46
Obr. 9: Podkroví	48
Obr. 10: Okrajové podmínky výpočtu	50
Obr. 11: Graf rozložení tlaků vodní páry.....	50
Obr. 12: Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vodní páry.....	51
Obr. 13: Energetický štítek budovy	55
Obr. 14: Průběh teploty během modelového dne	56
Obr. 15: Hydraulické zapojení.....	58
Obr. 16: Rozdělení jednotlivých okruhů.....	63
Obr. 17: Roční profil spotřeby teplé vody pro bytové domy.....	67
Obr. 18: Solární okruh	71
Obr. 19: Hydraulické zapojení systému včetně řídicích vstupů a výstupů.....	74
Obr. 20: Náčrty zapojení hlavního rozvaděče	80
Obr. 21: Náčrty zapojení podružného rozvaděče	81
Obr. 22: Elektroinstalace 1PP.....	83
Obr. 23: Elektroinstalace 1NP	83
Obr. 24: Elektroinstalace podkroví.....	84
Obr. 25: Rozmístění prvku PZTS a EPS v 1PP	89
Obr. 26 Rozmístění prvku PZTS a EPS v 1NP.....	89
Obr. 27: Rozmístění prvku PZTS a EPS v podkroví	90
Obr. 28: Vzhled vizualizace technologie	91
Obr. 29: Vzhled vizualizace osvětlení	92
Obr. 30: Vizualizace PZTS a EPS v 1PP	93
Obr. 31: Vizualizace PZTS a EPS v 1NP a podkroví.....	93

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla pro budovy s převládající návrhovou vnitřní teplotou intervalu 18°C až 22°C. [1].....	12
Tab. 2: Základní vlastnosti pasivních budov [1].....	13
Tab. 3: Přehled energetických potřeb zahrnutých do hodnocení primární energie pasivních budov – hodnotí se položky označené X [1].....	14
Tab. 4: Základní požadavky na energeticky nulové budovy [1].....	15
Tab. 5: Přehled energetických potřeb zahrnutých do hodnocení primární energie energeticky nulové budovy – hodnotí se položky označené X [1].....	15
Tab. 6: Závislost součinitele A na rychlosti proudění vzduchu.....	16
Tab. 7: Stupnice indexu PMV.....	18
Tab. 8: Vybrané hodnoty PEL a NPK	20
Tab. 9: Vybrané návrhové hodnoty osvětlení dle normy [10]	21
Tab. 10: Vybrané návrhové hodnoty pro akustiku [11].....	21
Tab. 11: Složení vzduchu pro tepelné technické výpočty [13].....	23
Tab. 12: Průměrné měsíční součinitele z [15]	26
Tab. 13: Vybrané požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro konstrukce s převládající vnitřní teplotou v rozmezí 18°C až 22°C [1].....	29
Tab. 14: Rozpis místností 1PP	45
Tab. 15: Rozpis místností 1NP	47
Tab. 16: Rozpis místností podkroví.....	48
Tab. 17: Okrajové podmínky	49
Tab. 18: Složení obvodové stěny 1NP (1 interiér, 3 exteriér)	49
Tab. 19: Složení jednotlivých konstrukcí (číslování vrstev: 1 interiér, 3 exteriér)	52
Tab. 20: Součinitele prostupu tepla a tepelné ztráty prostupem jednotlivých konstrukcí	53
Tab. 21: Tepelné ztráty jednotlivých místností	57
Tab. 22: Vybraná otopná tělesa 1NP	60
Tab. 23: Výsledky výpočtu tlakových ztrát jednotlivých okruhů.....	64
Tab. 24: Nastavení regulačních ventilů a šroubení u jednotlivých otopných těles.....	64
Tab. 25: Výpočet potřebné plochy solárních kolektorů.....	68
Tab. 26: Výpočet zisků 2 solárních kolektorů	68
Tab. 27: Výpočet zisků 3 solárních kolektorů	69

Tab. 28: Ekonomické zhodnocení solárních kolektorů	70
Tab. 29: Použité symboly	82
Tab. 30: Cenová kalkulace silnoproudé instalace.....	84
Tab. 31: Prvky KNX systému.....	86
Tab. 32: Schématické značky PZTS a EPS	88
Tab. 33: Seznam použitých součástí pro PZTS a EPS včetně cen a počtu kusů	90
Tab. 34: Výsledky zisků fotovoltaiky.....	94
Tab. 35: Prostá doba návratnosti fotovoltaického systému	96
Tab. 36: Spotřeba energie na vytápění.....	99
Tab. 37: Spotřeba energie na přípravu TV	99
Tab. 38: Ekonomické hodnocení vytápění a přípravy TV	100
Tab. 39: Celkové náklady	100

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Parametr PPD jako funkce PMV	18
Graf 2: Hodnoty výkonu a topného faktoru použitého tepelného čerpadla pro teplotu otopné vody 50°C v závislosti na venkovní teplotě.	59
Graf 3: Křivka dodávky a odběru tepla při přípravě TV	66
Graf 4: Ekvitermní křivka pro řízení teploty otopné vody	75
Graf 5: Průměrná měsíční produkce elektřiny	95
Graf 6: Rozložení průměrných teplot v otopném období	98

SEZNAM PŘÍLOH

- P I** Půdorys
- P II** Hydraulické zapojení tepelné soustavy
- P III** Rozmístění otopných těles
- P IV** PZTS
- P V** Elektroinstalace

Poznámka: přílohy jsou pouze v elektronické podobě