

# **Integrovaný systém techniky prostředí v budově rodinného domu**

Bc. Jan Skovajsa

---

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. Jan Skovajsa**

Osobní číslo: **A13460**

Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Integrované systémy v budovách**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Integrovaný systém techniky prostředí v budově rodinného domu**

Téma anglicky: **Integrated System HVAC in 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. Zvažte využití fotovoltaických panelů.
5. Navrhnete řídicí a monitorovací systém, včetně EPS a PZTS.

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*

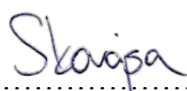
### **Prohlašuji, že**

- 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 pojednává o využití integrovaných systémů v budově rodinného domu, který prochází rekonstrukcí. Součástí praktického projektu, který vychází z teoretické části práce, je zhodnocení stávajících parametrů budovy a návrh patřičných opatření. Na jejich základě bude vypracován návrh vhodné tepelné soustavy s využitím obnovitelných zdrojů energie. Nedílnou součástí integrování systémů je také návrh silnoproudé elektroinstalace, zabezpečovacího systému a sběrnicevého řídicího systému, který poskytne komplexní řízení instalovaných technologií. Práce obsahuje také ekonomické ohodnocení projektu.

Klíčová slova: elektroinstalace, tepelné čerpadlo, fotovoltaika, sběrnice, SCADA, CIB, tepelná soustava, HVAC, solární kolektory, PZTS

## **ABSTRACT**

The diploma thesis discusses the use of integrated systems HVAC in family house, which is undergoing reconstruction. The practical part of the project based on the theoretical part assesses the parameters of the building and proposed to measures. On the basis of the measures will be designed heating system with renewable energy sources. The integrated systems also included electrical installation; intruder and hold-up alarm system and BUS control system that provides comprehensive management of installed technologies. The diploma thesis also includes the economic evaluation of the project.

Keywords: electrical installation, heat pump, photovoltaics, BUS, SCADA, CIB, thermal system, HVAC, solar collectors, I&HAS

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce, panu Ing. Martinu Zálešákovi, Csc., za odborné vedení, cenné rady a velmi důležité praktické zkušenosti v průběhu tvorby celé práce i v průběhu celého studia.

Poděkování patří také mé rodině, přítelkyni a přátelům, kteří byli po celou dobu studia na vysoké škole potřebnou oporou.

*„Když všichni mluví o nemožnostech, hledej možnosti.“*

Tomáš Baťa

# OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>12</b>
<b>1 ENERGETICKY ÚSPORNÉ BUDOVY.....</b>	<b>13</b>
1.1 ROZDĚLENÍ ENERGETICKY ÚSPORNÝCH BUDOV .....	13
1.1.1 Nízkoenergetické budovy .....	14
1.1.2 Pasivní budovy .....	14
1.1.3 Energeticky nulové budovy .....	14
1.2 ENERGETICKÉ HODNOCENÍ BUDOVY.....	15
1.2.1 Průkaz energetické náročnosti budovy (PENB).....	15
1.2.2 Energetický štítek obálky budovy .....	16
1.3 ZDROJE ENERGIE PRO ENERGETICKY ÚSPORNÉ DOMY.....	17
1.3.1 Neobnovitelné a obnovitelné zdroje .....	17
1.3.2 Zdroje elektrické energie a zdroje tepla v budovách.....	17
<b>2 VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ.....</b>	<b>18</b>
2.1 MIKROKLIMA .....	18
2.1.1 Tepelná pohoda .....	19
2.1.2 Teplota .....	20
2.1.3 Vlhkost vzduchu .....	22
2.1.4 Rychlost proudění vzduchu.....	23
2.1.5 Index PMV a PPD .....	23
2.2 AKUSTIKA.....	24
2.3 OSVĚTLENÍ .....	26
2.4 VÝMĚNA VZDUCHU .....	27
<b>3 VNĚJŠÍ KLIMATICKÉ PODMÍNKY .....</b>	<b>29</b>
<b>4 STAVEBNÍ FYZIKA.....</b>	<b>30</b>
4.1 ŠÍŘENÍ TEPLA KONSTRUKCÍ A OBÁLKOU BUDOVY.....	30
4.1.1 Součinitel prostupu tepla.....	30
4.1.2 Průměrný součinitel prostupu tepla .....	32
4.1.3 Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce.....	35
4.1.4 Pokles dotykové teploty.....	36
4.2 VLHKOST VE STAVEBNÍ KONSTRUKCI.....	37
4.3 TEPELNÁ STABILITA MÍSTNOSTÍ .....	38
4.3.1 Pokles výsledné vnitřní teploty v zimním období .....	38
4.3.2 Tepelná stabilita v letním období .....	38
<b>5 TEPELNÉ ZTRÁTY A TEPELNÝ VÝKON.....</b>	<b>39</b>
5.1 CELKOVÁ NÁVRHOVÁ TEPELNÁ ZTRÁTA .....	40
5.1.1 Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla.....	40
5.1.2 Návrhová tepelná ztráta větráním.....	42
5.1.3 Zátopový tepelný výkon .....	44
5.2 NÁVRHOVÝ TEPELNÝ VÝKON.....	45
5.3 ZJEDNODUŠENÁ METODA.....	45
5.3.1 Návrhové ztráty pro vytápěný prostor .....	45

5.3.2	Návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor.....	46
<b>6</b>	<b>TEPELNÉ ZISKY.....</b>	<b>47</b>
6.1	TEPELNÉ ZISKY OD VNITŘNÍCH ZDROJŮ TEPLA .....	47
6.2	TEPELNÉ ZISKY Z VNĚJŠÍHO PROSTŘEDÍ.....	48
6.2.1	Tepelná zátěž okny .....	49
6.2.2	Tepelné zisky stěnami.....	49
6.2.3	Tepelné zisky infiltrací venkovního vzduchu. ....	49
<b>7</b>	<b>SYSTÉMY TECHNIKY PROSTŘEDÍ.....</b>	<b>50</b>
7.1	VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE .....	50
7.1.1	Větrání .....	50
7.1.2	Zpětné získávání tepla .....	52
7.1.3	Klimatizace .....	52
7.2	VYTÁPĚNÍ.....	53
7.2.1	Teplovodní podlahové soustavy .....	55
7.2.2	Elektrické podlahové vytápění .....	59
7.3	PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY .....	60
7.3.1	Požadavky na přípravu teplé vody .....	61
7.3.2	Výpočty pro přípravu TV.....	61
7.4	SOLÁRNÍ SOUSTAVA .....	63
7.4.1	Výpočty pro návrh solární soustavy .....	63
7.4.2	Příprava TV pomocí solární soustavy.....	64
7.5	ZABEZPEČOVACÍ ZAŘÍZENÍ VODNÍCH TEPELNÝCH SOUSTAV .....	65
7.5.1	Pojistné zařízení .....	65
7.5.2	Expanzní zařízení .....	67
7.6	SMĚŠOVACÍ, SEŘIZOVACÍ A REGULAČNÍ ARMATURY .....	68
<b>8</b>	<b>SBĚRNICOVÁ ELEKTROINSTALACE.....</b>	<b>70</b>
8.1	SBĚRNICOVÁ A KLASICKÁ ELEKTROINSTALACE .....	70
8.2	SBĚRNICOVÉ SYSTÉMY .....	70
8.2.1	iNels CIB.....	71
8.2.2	KNX.....	71
8.2.3	LONWORKS .....	71
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>72</b>
<b>9</b>	<b>POPIS A PARAMETRY OBJEKTU .....</b>	<b>73</b>
9.1	POPIS OBJEKTU A OKRAJOVÝCH PODMÍNEK.....	73
9.1.1	Okrajové podmínky .....	73
9.1.2	Popis objektu a jeho užití .....	73
9.2	STÁVAJÍCÍ STAV .....	77
9.2.1	Skladba konstrukcí a rozložení tlaků vodní páry .....	78
9.2.2	Součinitel prostupu tepla konstrukcí .....	82
9.2.3	Průměrný součinitel prostupu tepla .....	83
9.2.4	Tepelné ztráty a tepelný výkon .....	85
9.2.5	Navrhované úpravy.....	86
9.3	REKONSTRUKCE.....	87
9.3.1	Zhodnocení zateplení obvodových zdí .....	87

9.3.2	Součinitel prostupu tepla konstrukcí .....	88
9.3.3	Průměrný součinitel prostupu tepla .....	88
9.3.4	Tepelných ztráty a tepelný výkon.....	90
9.4	TEPELNÁ STABILITA .....	92
<b>10</b>	<b>TEPELNÁ SOUSTAVA.....</b>	<b>93</b>
10.1	OTOPNÁ SOUSTAVA.....	93
10.1.1	Otopná tělesa .....	94
10.1.2	Vyvážení otopné soustavy .....	95
10.1.3	Ekvitermní křivka a přepočet tepelného výkonu.....	97
10.1.4	Průběh teplot v otopném období .....	99
10.2	ZDROJE TEPLA.....	100
10.2.1	Tepelné čerpadlo .....	100
10.2.2	Kotel na zemní plyn.....	102
10.3	PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY .....	103
10.4	SOLÁRNÍ SOUSTAVA .....	105
10.4.1	Výpočty pro návrh solární soustavy .....	105
10.4.2	Příprava TV pomocí solární soustavy.....	106
10.5	POJISTNÝ VENTIL.....	107
10.6	EXPANZNÍ ZAŘÍZENÍ .....	107
10.7	PODLAHOVÉ VYTÁPĚNÍ.....	108
10.8	HYDRAULICKÉ ZAPOJENÍ .....	109
<b>11</b>	<b>ŘÍZENÍ.....</b>	<b>110</b>
11.1	PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY .....	110
11.1.1	Solární kolektory .....	110
11.1.2	Tepelné čerpadlo a kotel na zemní plyn .....	111
11.1.3	Termická dezinfekce.....	112
11.2	VYTÁPĚNÍ.....	112
11.2.1	Tepelné čerpadlo .....	113
11.2.2	Kotel na ZP .....	113
11.3	TECHNOLOGIE ŘÍZENÍ .....	114
11.3.1	Moduly řízení tepelné soustavy.....	115
<b>12</b>	<b>ELEKTROINSTALACE .....</b>	<b>116</b>
12.1	SILNOPROUDÁ ELEKTROINSTALACE .....	116
12.1.1	Hlavní domovní vedení.....	116
12.1.2	Světelné okruhy .....	116
12.1.3	Zásuvkové okruhy .....	117
12.2	SBĚRNICOVÁ ELEKTROINSTALACE CIB .....	121
12.2.1	Návrh sběrnice elektromotů.....	121
12.2.2	Prvky řídicího systému .....	122
12.3	PZTS.....	125
<b>13</b>	<b>VIZUALIZACE SCADA .....</b>	<b>127</b>
<b>14</b>	<b>EKONOMIKA OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>129</b>

14.1	FOTOVOLTAICKÉ PANELY – NÁVRH.....	129
14.2	FOTOVOLTAICKÉ PANELY – HODNOCENÍ.....	130
14.3	SOLÁRNÍ SOUSTAVA – HODNOCENÍ.....	131
14.4	TEPELNÉ ČERPADLO – HODNOCENÍ.....	132
<b>15</b>	<b>EKONOMICKÉ OHODNOCENÍ.....</b>	<b>134</b>
15.1	OTOPNÁ SOUSTAVA A TEPELNÉ ČERPADLO .....	134
15.2	SOLÁRNÍ SOUSTAVA .....	134
15.3	ELEKTROINSTALACE - SILNOPROUD, PZTS A ŘÍDICÍ SYSTÉM.....	135
15.4	CELKOVÉ INVESTICE.....	135
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>136</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>138</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>141</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>143</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>144</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>146</b>

## ÚVOD

Neustále rostoucí ceny energií vedou společnost k zamyšlení, jak právě spotřebu energie snižovat a zároveň vytvářet kvalitní vnitřní prostředí a komfort bydlení. Téma úspory energií je tedy velice aktuální, přičemž v rámci Evropské Unie je povinnost budovat pouze objekty s nízkou spotřebou energie. Požadavky na potřebu energií se postupně zvyšují, což vede k dalším možnostem uplatnění a vývoji technických zařízení budov.

Úspory energií na vytápění i přípravu teplé vody lze dosáhnout pasivním způsobem, který spočívá ve zlepšování tepelně-technických vlastností budovy, a také aktivním způsobem pomocí technologií využívajících obnovitelné zdroje. Zde se nejčastěji využívají solární kolektory a tepelná čerpadla, méně pak fotovoltaické panely.

V rámci integrovaných systémů v budovách se hovoří o několika odvětvích. Jedná se o systémy upravující mikroklimatické podmínky uvnitř budov, systémy tepelné soustavy, zařízení větrání a klimatizace, řídicí systémy, elektroinstalace apod. Integrované systémy poté propojují uvedená odvětví, přičemž dílčí systémy mohou vzájemně komunikovat. Nabízí se také kvalitní způsob měření, monitorování a řízení všech funkcí v budově.

Diplomová práce pojednává o integrovaných systémech, které již nejsou výsadou pouze komerčních, administrativních, či výrobních objektů. V úvodní části práce je vypracována teoretická základna, která stanovuje požadavky, výpočtové postupy a návrhy jednotlivých zařízení. Projekt v rámci praktické části vychází právě z uvedených teoretických podkladů.

Praktická část postupně zpracovává dílčí cíle, které se poté mohou sjednotit a vytvořit tak kvalitní a funkční integrovaný systém. Prvním cílem je posouzení tepelně-technických vlastností stávajícího objektu a návrh patřičných opatření podle současných požadavků.

Následující cíl je komplexní návrh tepelné soustavy na vytápění i přípravu teplé vody. Soustava využívá obnovitelné zdroje, přičemž je navržena včetně řídicího systému.

Součástí projektu je také návrh zabezpečovací techniky, silnoproudé elektroinstalace a sběrníkového systému, který umožňuje komfortní ovládání osvětlení a dalších zařízení v domě. Řídicí systém tepelné soustavy i elektroinstalace bude možné monitorovat a řídit pomocí navrženého vizualizačního prostředí SCADA/HMI.

Nedílnou součástí práce je ekonomické ohodnocení navržených technologií využívající obnovitelné zdroje a zvážení využití fotovoltaiky. Projekt v samotném závěru diplomové práce obsahuje celkové kalkulace investic na rekonstrukce a použité systémy.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ENERGETICKY ÚSPORNÉ BUDOVY

V několika posledních letech je značná snaha snížit celkovou spotřebu energií budov. Toho lze efektivně dosáhnout stavebním řešením s redukovanou potřebou energií na vytápění, chlazení, přípravu teplé vody, provoz technologií a domácnosti. Významným bodem je také volba energetických zdrojů s nízkým faktorem energetické přeměny a využití systémů s využitím obnovitelných zdrojů energie. Energeticky úsporné budovy by měly mít:

- minimální plochu pláště (menší členitost);
- otvorové výplně orientované směrem na jih;
- kvalitní tepelně-technický návrh a provedení;
- využití sluneční energie a dalších obnovitelných zdrojů.

### 1.1 Rozdělení energeticky úsporných budov

Energeticky úsporné budovy jsou v platné normě rozděleny podle celkové měrné potřeby tepla na vytápění vztáženou na plochu 1 m<sup>2</sup> do třech kategorií:

- nízkoenergetické;
- pasivní;
- energeticky nulové budovy.

Mimo uvedené tři kategorie lze rozlišit podle měrné potřeby tepla i budovy, které nejsou energeticky úsporné, do několika kategorií podle následující tabulky (Tab. 1).

*Tab. 1: Rozdělení budov podle potřeby tepla na vytápění*

Typ domu	Charakteristika	Potřeba tepla na vytápění [kWh/(m <sup>2</sup> a)]
domy ze 70. a 80. let	zastaralá otopná soustava; vysoké emise; větrání okny; bez izolace; přetápí se	≥ 200
současné novostavby	klasické vytápění pomocí kotle na ZP; větrání okny; konstrukce podle norem	80 až 140
nízkoenergetické domy	otopná soustava s nižším výkonem; obnovitelné zdroje zatepleno; řízené větrání	≤ 50
pasivní domy	teplovzdušné vytápění; rekuperace; kvalitní izolace a těsné konstrukce	≤ 15
nulové domy, domy s přebytkem tepla	parametry min. na úrovni pasivních domů; fotovoltaika	≤ 5

### 1.1.1 Nízkoenergetické budovy

Aktuální norma ČSN 73 0540-2 v dané problematice definuje nízkoenergetické budovy jako s nízkou spotřebou tepla na vytápění. V souladu s technickou normalizační informací TNI 730329 a TNI 730330 a normou ČSN EN ISO 13790 je za nízkoenergetickou budovu brána taková, která má měrnou potřebu tepla nižší než  $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . [1]

Hodnocení se provádí pro budovy s převažující návrhovou teplotou mezi  $18$  až  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 1.1.2 Pasivní budovy

Pasivní budovy představují stavby, které splňují všechny požadavky pro nízkoenergetické domy. Navíc musejí mít roční měrnou spotřebu tepla na vytápění do  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  a dále nesmějí mít neprůvzdušnost obálky budovy vyšší než  $0,6 \text{ h}^{-1}$ . [1]

Pasivní obytné budovy musejí splňovat požadavky uvedené v tabulce dále (Tab. 2).

Tab. 2: Hodnoty pro pasivní budovy [1]

Objekt	Průměrný součinitel prostupu tepla [W/(m <sup>2</sup> K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Měrná potřeba energie na chlazení [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Měrná potřeba primární energie [kWh/(m <sup>2</sup> a)]
Neobytné budovy	$\leq 0,35$ doporučeno	$\leq 0,15$	$\leq 0,15$	$\leq 0,120$
Rodinný dům	$\leq 0,25$ požadováno	$\leq 0,20$ požadováno	0	$\leq 0,60$
	$\leq 0,20$ doporučeno	$\leq 0,15$ doporučeno		
Bytový dům	$\leq 0,35$ požadováno	$\leq 0,15$	0	$\leq 0,60$
	$\leq 0,30$ doporučeno			

### 1.1.3 Energeticky nulové budovy

Pojem nulových budov je prozatím pouze informativní a předběžný. Vychází se z roční bilance energetických potřeb a produkce vyjádřené v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů. Je-li roční energetická potřeba a produkce vyrovnaná, hovoříme o budově energeticky nulové popř. budově blízké energeticky nulové. Nulová budova má obecně měrnou spotřebu tepla na vytápění do  $5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . [1]

Norma ČSN 73 0540-2 rozlišuje dvě úrovně:

- úroveň A – do energetické potřeby je zahrnuta potřeba tepla na vytápění, energie na chlazení, na přípravu teplé vody, pomocné elektrické energie na provoz systémů budovy, energie na osvětlení a elektrické spotřebiče;
- úroveň B – jako A, ale bez zahrnutí elektrické energie na elektrické spotřebiče. [1]

## 1.2 Energetické hodnocení budovy

Problematiku energetické náročnosti budov řeší zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií a vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov s účinností od 1. 4. 2013. Směrnice o energetické náročnosti budov zavádí nové pojmy:

***Nákladově optimální úroveň*** – stanovené požadavky na energetickou náročnost budov nebo jejich stavebních či technických prvků, která vede k nejnižším nákladům na investice v oblasti užití energií, na údržbu, provoz a likvidaci budov nebo jejich prvků v průběhu odhadovaného ekonomického životního cyklu. [2]

***Budova s téměř nulovou spotřebou energie*** – budova s velmi nízkou energetickou náročností, jejíž spotřeba energie je ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů. [2]

Hodnocení energetické náročnosti budov se týká stavebníků, vlastníků a provozovatelů budov. Požadavky na energetickou náročnost jsou kladeny při výstavbě, změně dokončené budovy, prodeji či pronájmu. Hodnocení je dáno průkazem energetické náročnosti budovy.

### 1.2.1 Průkaz energetické náročnosti budovy (PENB)

Průkazem energetické náročnosti se rozumí dokument, který obsahuje stanovené informace o energetické náročnosti budovy nebo ucelené části budovy. Platnost průkazu je 10 let.

Metodika je založena na hodnocení přes referenční budovu. Jsou zde stanoveny ukazatele energetické náročnosti budovy, celková primární energie, neobnovitelná primární energie, celková dodaná energie, dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení, průměrný součinitel prostupu tepla, součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici a účinnost technických systémů. [2]

Zpracování PENB může provést pouze osoba definovaná zákonem č 406/2000 Sb., § 10, tedy energetický auditor nebo osoba autorizovaná podle zvláštního právního předpisu. Oprávněná osoba musí být přezkoušena.

PENB hodnotí energie potřebné pro provoz budovy, tedy energie na vytápění, přípravu teplé vody, chlazení, úpravu vzduchu větráním a klimatizací a na osvětlení. Budovu zařadí do jedné ze sedmi tříd od A, mimořádně úsporné, až po G, mimořádně nevhodnou. Požadavky na energetickou náročnost splňují budovy ve třídě A až C. Ostatní třídy jsou považovány za nevyhovující. [3]

### 1.2.2 Energetický štítek obálky budovy

Na rozdíl od průkazu energetické náročnosti budovy (PENB) hodnotí energetický štítek pouze tepelně izolační vlastnosti obálky budovy. Hodnocení obálky budovy je provedeno na základě váženého průměrného součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukčních prvků obálky budovy (stěny, podlahy, okna, dveře apod.).

Energetický štítek má podobné rozdělení kategorií jako je tomu u PENB. I zde je sedm tříd, přičemž vyhovující jsou třídy A až C. Třída A představuje pasivní budovy a třída B nízkoenergetické budovy. Třída C se dá ještě rozdělit na dvě třídy C1 a C2, kde třída C1 představuje splnění doporučených hodnot a C2 splnění pouze hodnot požadovaných. Třídy D až G jsou nevyhovující.

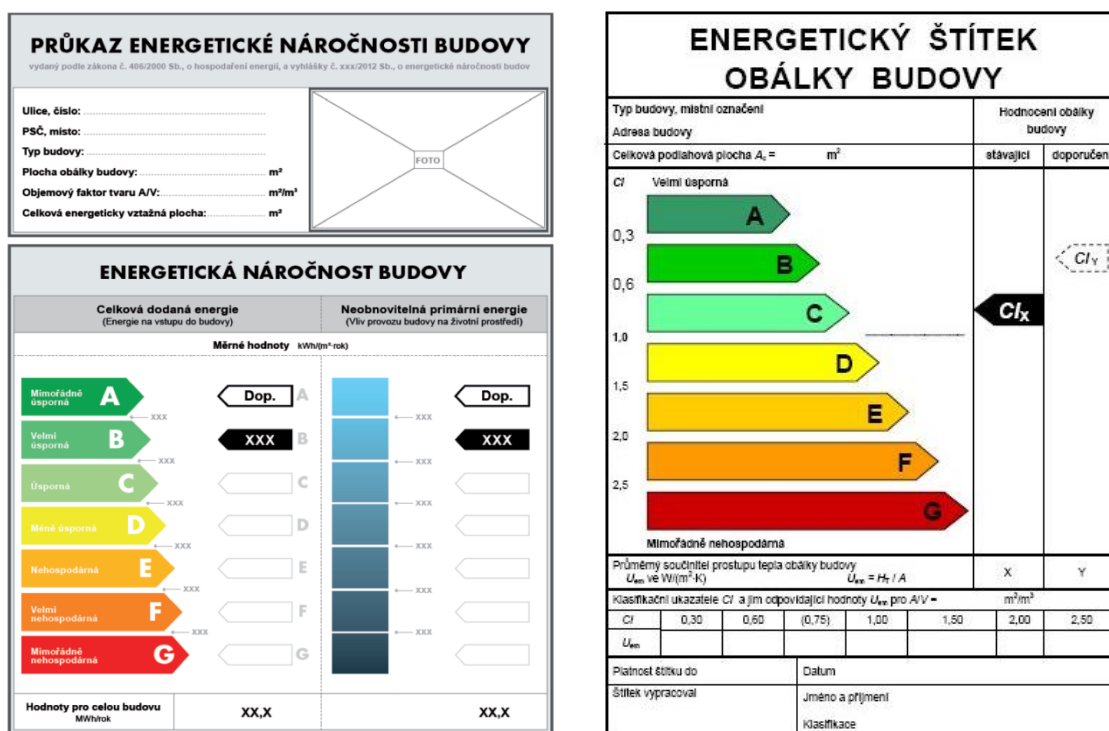
Požadované hodnoty na součinitele prostupu tepla konstrukcí jsou uvedeny v tabulkách v normě ČSN 73 0540. Průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em}$ , ve  $W/(m^2K)$ , lze stanovit:

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} \quad (1)$$

kde  $H_T$  je měrná ztráta prostupem tepla, ve  $W/K$ ;

$A$  celková plocha obálky budovy.

Ukázka PENB a energetického štítku obálky budovy je uvedena v obrázku dále (Obr. 1).



Obr. 1: PENB a energetický štítek obálky budovy [4]

### 1.3 Zdroje energie pro energeticky úsporné domy

Zdrojů energie je celá řada, přičemž všechny se dají začlenit do dvou hlavních kategorií, těmito jsou neobnovitelné a obnovitelné zdroje. Moderní energeticky úsporné budovy mají za cíl snižování celkové potřeby energií a současně pokrytí své potřeby energií získanou z obnovitelných, přírodních, zdrojů

#### 1.3.1 Neobnovitelné a obnovitelné zdroje

Obnovitelné zdroje z hlediska výroby elektrické energie sice nehrají rozhodující roli, jejich význam však spočívá v šetrném přístupu k životnímu prostředí a případně v možnostech budoucího využití ve větším rozsahu. Požadavek na maximální využívání obnovitelných zdrojů je i jedním z klíčových bodů energetické politiky Evropské unie. [5]

Mezi obnovitelné zdroje energie patří:

- energie vody;
- geotermální energie;
- spalování biomasy;
- energie větru;
- energie slunečního záření;
- využití tepelných čerpadel.

Neobnovitelné zdroje energie jsou takové zdroje, které nejsou nekonečné, což je základní charakteristický rozdíl proti obnovitelným zdrojům energie. Neobnovitelné zdroje se tedy rychleji spotřebovávají, než obnovují. Mezi neobnovitelné, „klasické“, zdroje energie patří:

- jaderná energie;
- fosilní paliva (uhlí, ropa, zemní plyn).

#### 1.3.2 Zdroje elektrické energie a zdroje tepla v budovách

Zdroje elektrické energie využívající obnovitelné zdroje s nízkým dopadem na potřebu energie se dnes řadí kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie ze zemního plynu či biomasy, solární fotovoltaické systémy, větrné mikroelektrárny apod. [1]

Zdroje tepla by měly minimalizovat spotřebu primární energie. Takovým zdrojem může být např. plynový kondenzační kotel. Zvláštní pozornost je věnována využití tepla pomocí obnovitelných zdrojů, jako jsou solární soustavy, zařízení na spalování biomasy (krby, kamna, kotle) a tepelná čerpadla (země-voda, voda-voda, vzduch-voda). [1]

## 2 VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ

### 2.1 Mikroklima

Vnitřní prostředí, mikroklima, je prostředí vymezené stavebními konstrukcemi. Jeho cílem je vyloučit, nebo alespoň částečně zmírnit vliv působení vnějšího prostředí na člověka, zvířata, nebo také na technologické postupy. Návrhovými parametry a kvalitou vnitřního prostředí se zabývá norma ČSN EN 15251 a jeho kvalitu lze upravovat pomocí systémů techniky prostředí. Vnitřní mikroklima charakterizuje několik faktorů:

- teplota vzduchu;
- vlhkost vzduchu;
- složení vzduchu;
- hluk a osvětlení.

Kvalitu vnitřního prostředí lze podle normy ČSN EN 15251, pro volbu vstupních údajů, rozdělit do čtyř kategorií a jejich stručný popis je uveden v tabulce (Tab. 3):

*Tab. 3: Kategorie vnitřního prostředí*

Kategorie	Popis
I	Vysoká úroveň, prostory pro velmi citlivé osoby se zvláštními požadavky
II	Běžná úroveň – nové budovy a rekonstrukce
III	Přijatelná, střední úroveň – použitelná pro stávající budovy
IV	Mimo kritéria výše uvedených – přípustné pouze po omezenou část roku

Jednotlivé kategorie mají své doporučené parametry pro letní a zimní období. Jedná se především o teplotu, relativní vlhkost a rychlost proudění vzduchu. S těmito parametry souvisí také tepelná pohoda a indexy PMV a PPD, což jsou ukazatele hodnotící kvalitu vnitřního prostředí. Následující tabulka (Tab. 4) představuje běžné doporučené hodnoty pro obytné prostory kategorie II v souladu s ČSN EN ISO 7730 a ČSN EN 15251.

*Tab. 4: Doporučené hodnoty pro vnitřní mikroklima*

Parametr	Letní období	Zimní období
Operativní teplota [°C]	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0
Relativní vlhkost [%]	30 až 70	30 až 70
Max. střední rychlost proudění vzduchu [m/s]	0,19	0,16
Teplota podlahy [°C]	19 až 29	19 až 29
Rozdíl teploty vzduchu ve výšce 0,1 a 1,1 m [°C]	< 3	< 3

### 2.1.1 Tepelná pohoda

Stav, kdy prostředí odebírá tělu tolik tepla, kolik právě produkuje, označujeme jako tepelná rovnováha. Teplo, které člověk vydává do okolí, závisí na teplotním spádu mezi povrchem těla a teplotou okolí. Předpokladem tepelné pohody je dosažení rovnováhy tepelného režimu člověka potřebné k udržení stálé teploty těla. V klidu je tepelná produkce lidí  $q_m = 40 \text{ W/m}^2$  a objemový průtok vzduchu plicemi  $0,14 \text{ l/s}$  ( $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ). [6]

Tepelná produkce i objemový průtok se zvyšují s fyzickou zátěží. Tepelná pohoda je tedy stav, kdy člověk nepocítuje ani chlad, ani nadměrné teplo. Tepelnou rovnováhu mezi tělem člověka a jeho okolím lze vyjádřit funkčním vztahem: [7]

$$f(q_m, R_d, \theta_i, \theta_r, w, p_v) = 0 \quad (2)$$

kde:

$q_m = \frac{\dot{Q}}{S}$  vnitřní tepelná produkce z jednotkové plochy na povrchu těla, ve  $\text{W/m}^2$ ;

$R_d$  tepelný odpor oděvu, v  $\text{m}^2\text{K/W}$ ;

$\theta_i$  teplota okolní vzduchu, ve  $^\circ\text{C}$ ;

$\theta_r$  střední radiační teplota okolních ploch, ve  $^\circ\text{C}$ ;

$w$  rychlost proudění vzduchu, v  $\text{m/s}$ ;

$p_v$  tlak vodních par ve vzduchu, v Pa.

Faktory ovlivňující výměnu tepla mezi tělem člověka a jeho okolím mají zároveň vliv na dosažený stupeň tepelné pohody, dělí se na vnitřní prostředí, osobní faktory (energetický výdej, oblečení, atd.) a doplňující faktory (jídlo a pití, aklimatizace, postava, věk, pohlaví).

Energetický výdej člověka je dán vnitřní produkcí tepla, které vzniká při biologických pochodech a má pro dospělého člověka hodnotu  $58 \text{ W/m}^2$ , což odpovídá hodnotě 1 MET (metabolický ekvivalent). Dospělý člověk má plochu přibližně  $1,8 \text{ m}^2$ . [6]

Tab. 5: Měrný energetický výdej na  $\text{m}^2$  plochy těla

Činnost	$q_m [\text{W/m}^2]$
Spánek	40
Sezení v klidu	58
Kancelářské práce	60 - 70
Chůze po rovině $3,2 \text{ km/h}$	115
Squash	320 - 430
Vaření	80 - 120

### 2.1.2 Teplota

Teplota je jednou ze základních veličin určujících kvalitu prostředí budovy. Má vliv nejen na komfort, ale je také jedním z parametrů určujících energetickou náročnost budovy.

#### *Teplota vzduchu*

Optimální hodnoty jsou závislé na účelu využití místnosti, vnitřní produkci tepla, oděvu, věku, pohlaví apod. V našich podmínkách je pro přiměřeně oblečeného sedícího člověka vhodná teplota 28 až 22 °C v zimním období, v letním je to od 23 do 25 °C. Minimální teplota vzduchu v místnosti při práci ve stoje se pohybuje kolem 17 °C. V létě je člověk méně oblečen, proto k odvodu stejného množství tepla potřebuje při stejné teplotě povrchu těla vyšší teplotu okolí, z toho důvodu je přípustná vyšší teplota kolem 28 °C.

Z hlediska tepelné pohody je vhodné udržovat rozdíl teplot v místě hlavy a nohou menší než 2 K u stojícího člověka a méně než 1,5 K u sedícího člověka.

#### *Teplota kulového teploměru*

Teplota kulového teploměru  $\theta_g$  vyjadřuje výsledný vliv složek teploty vzduchu a radiační teploty. Jedná se o černou kouli z měděného plechu, v jejímž středu je umístěn rtuťový teploměr. V ČR je používán v modifikaci dle Jokla – koule je obalena vrstvou pěnového polystyrenu, který snižuje odraz tepelných paprsků, ale prodlužuje dobu ustálení. [8]

Teplota kulového teploměru hodnotí teplotu vzduchu a sálavou teplotu, nebere v úvahu vlhkost vzduchu a minimálně rychlost proudění vzduchu. Proto se v současné legislativě prosadil pojem operativní teplota.

#### *Operativní teplota*

Poměr mezi tepelnými ztrátami lidského těla prouděním a sáláním může být nepříznivě ovlivněn, je-li člověk blízko povrchu s nízkou teplotou. V tom případě dochází k intenzivní výměně tepla sáláním mezi částí těla přivráceného k chladné stěně. Proto se při návrhu tepelně technických vlastností vychází také z vnitřní povrchové teploty konstrukcí. [9]

Hodnotícím kritériem pro tepelnou pohodu v prostoru podle Nařízení vlády č. 523/2002 Sb. je operativní teplota  $\theta_o$ , která respektuje kromě teploty vzduchu  $\theta_a$  i střední radiační teplotu  $\theta_r$  (dříve účinná teplota okolních ploch) a rychlost proudění vzduchu  $w_a$ . [10]

Operativní teplota je jednotná teplota uzavřeného černého prostoru, ve kterém by tělo sdílelo radiací a konvekcí stejně tepla, jako ve skutečném nehomogenním prostředí:

$$\theta_0 = A\theta_a + (1 - A)\theta_r \quad (3)$$

kde:

$A$  hodnota závislá na relativní rychlosti proudění vzduchu;

$\theta_a$  teplota vzduchu, ve °C;

$\theta_r$  střední radiační teplota, ve °C.

Tab. 6: Závislost součinitele  $A$  na rychlosti proudění vzduchu v prostoru

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

Při rychlostech proudění vzduchu pod 0,2 m/s lze nahradit operativní teplotu výslednou teplotou  $\theta_g$  měřenou kulovým teploměrem.

Hygienický předpis uvádí, že střední radiační teplotu  $\theta_r$  lze stanovit z výsledné teploty kulového teploměru  $\theta_g$ . To je možné v případě hotového díla, neboť teplotu kulového teploměru zjistíme pouze měřením. Pro běžné systémy větrání a klimatizace, kdy výrazně převažuje konvekční přenos tepla, se předpokládá, že teplota okolních stěn nebude výrazně odlišná od teploty vzduchu a bude platit  $\theta_a = \theta_r = \theta_0$ . V případě sálavých systému, však teplota vzduchu nebude shodná s teplotou okolních stěn. [10]

### ***Střední radiační teplota***

K usnadnění výpočtu a posouzení sálavého účinku všech okolních ploch jedinou veličinou byla zavedena tzv. střední radiační teplota  $\theta_r$ . Ta je definována jako společná teplota všech okolních ploch, při které by bylo celkové množství tepla sdílené sáláním mezi povrchem těla a okolními plochami stejné jako ve skutečnosti. Pro obecný případ platí:

$$T_r = \sqrt[4]{F_{r1}T_1^4 + F_{r2}T_2^4 + \dots + F_{rn}T_n^4} \quad (4)$$

kde:

$T_n$  absolutní teploty povrchů okolních ploch  $S_n$ , v K;

$F_{rn}$  poměry osálení jednotlivých okolních ploch  $S_n$  plochou  $S_r$

někdy lze k výpočtu použít i přibližné rovnice, která v podstatě vyjadřuje střední teplotu okolních ploch:

$$\theta_r = \frac{\theta_1 S_1 + \theta_n S_2 + \dots + \theta_n S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad (5)$$

Pro hodnocení tepelného homogenního prostředí se stanovuje střední radiační teplota ve výškách 0,6 m nad podlahou pro sedící a 1,1 m nad podlahou pro stojící osobu. Existují v zásadě tři základní možnosti jak určit střední radiační teplotu:

- manuálním výpočtem
- použitím simulačního programu
- měřením parametrů tepelného stavu prostředí. [10]

### 2.1.3 Vlhkost vzduchu

Vlhkost vzduchu, tedy obsah vodní páry ve vzduchu, je ve větrací a vytápěcí technice druhořadým činitelem. Avšak veliký význam má v oblasti klimatizační techniky, jelikož nejen z hlediska hygieny, ale i z pocitového hlediska jsou důležité určité hladiny vlhkosti ve vzduchu. Z hlediska hygieny prostředí a následně pak celkové tepelně-vlhkostní pohody člověka mohou nastat dva případy – příliš vysoké, či nízké vlhkosti vzduchu. [11]

Stav relativní vlhkosti se dle doporučení udržuje v rozmezí  $30\% > \varphi_i > 70\%$ , optimální hodnotou je pak hodnota  $\varphi_i = 50\%$ . Při relativní vlhkosti  $\varphi > 70\%$  a vyšší teplotě se zvyšuje riziko vzniku plísní, při nízké relativní vlhkosti  $\varphi < 30\%$  se pak zvyšuje prašnost prostředí a může docházet k dýchacím potížím. Zvyšující se relativní vlhkost ve spojení s vyšší teplotou vede k mokrému odpařování, proto by mělo být mikroklima upravováno tak, aby se se vzrůstající teplotou snižovala relativní vlhkost vzduchu. [12]

**Vlhkost absolutní** - hmotnost vodních par  $m_v$  vztažená k objemu vzduchu  $V$ :

$$a = \frac{m_v}{V} = \rho_v \text{ [kg/m}^3; \text{ g/m}^3] \quad (6)$$

Ve vzduchotechnických výpočtech se používá měrná vlhkost, což je hmotnost vodních par vztažená na hmotnost suchého vzduchu:

$$x = \frac{m_v}{m_s} \text{ [kg/kg]} \quad (7)$$

**Vlhkost relativní** - poměr mezi hodnotou okamžitého množství vodní páry ve vzduchu a množství par, které by mělo dané množství vzduchu obsahovat při plném nasycení. [11]

$$\varphi = \frac{m_v}{m_v''} = \frac{\rho_v}{\rho_v''} = \frac{p_v}{p_v''} \text{ [%]} \quad (8)$$

### 2.1.4 Rychlost proudění vzduchu

Rychlost proudění vzduchu ovlivňuje přestup tepla prouděním mezi osobou a prostředím, což ovlivňuje celkový tepelný komfort, který lze vyjádřit indexy PMV a PPD. Zvýšením rychlosti proudění lze vyrovnat tepelný vjem způsobený zvýšenou teplotou. Abychom přizpůsobili teplejší prostředí, je často využívána možnost zvýšení proudění vzduchu. [11]

Z hygienických hledisek je přípustná rychlost 0,13 až 0,2 m/s, vyšší rychlost lze volit u místností s vyšší teplotou. Nejvyšší únosná rychlost při teplotě 26 °C je  $w \leq 0,3$  m/s.

### 2.1.5 Index PMV a PPD

Klasifikaci tepelného prostředí popisuje norma ČSN EN ISO 7730, kde se udávají metody stanovení tepelného komfortu pomocí dvou ukazatelů – PMV (předpověď středního tepelného pocitu) a PPD (předpovídané procento nespokojených). Oba se dají aplikovat na zdravé muže i ženy vystavené vnitřnímu prostředí. [12]

**PMV** - střední tepelný pocit – ukazatel, který byl získán zprůměrováním velkého počtu hlasů od zkoumaných osob pomocí sedmibodové stupnice.

Tab. 7: Stupnice PMV

PMV	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
Charakter	Horko	Teplo	Mírné teplo	Neutrální	Mírné chladno	Chladno	Zima

Získaný index PMV lze použít např. k ověření, zda tepelné prostředí odpovídá kritériím komfortu a ke stanovení požadavků pro různé úrovně přijatelnosti. PMV lze počítat pro různé kombinace metabolismu, izolace oděvu, teploty vzduchu, střední radiační teploty, rychlosti proudění vzduchu a vlhkosti vzduchu. Ukazatel PMV je odvozen pro podmínky ustáleného stavu a index PMV by se měl používat pro rozsah stupnice -2 až +2 a dále při rozsahu parametrů vnitřního prostředí dle tabulky (Tab. 8): [12]

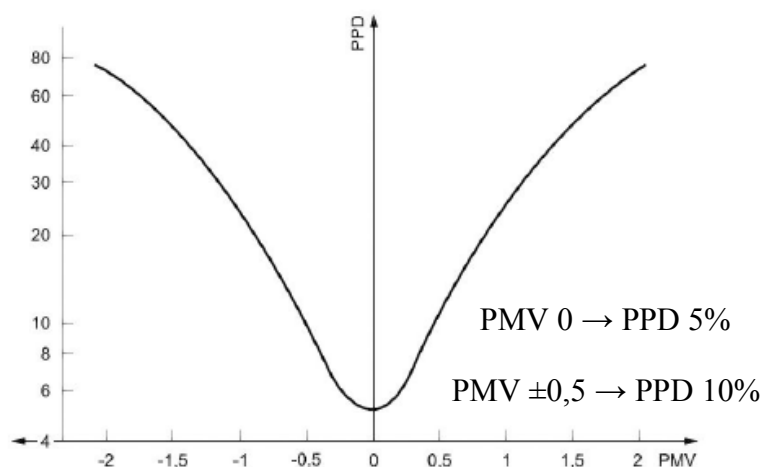
Tab. 8: Rozsah parametru pro výpočet PMV

$M$	46 - 232 W/m <sup>2</sup> (4 met)
$R_{cl}$	0 - 0,31 m <sup>2</sup> K/W (2 clo)
$\theta_a$	10 - 30 °C
$\bar{\theta}_r$	10 - 40 °C
$w_{ar}$	0 - 1 m/s
$p_a$	0 - 2700 Pa

**PPD** - procentuální podíl nespokojených – předpověď procenta osob, které jsou právě s daným tepelným prostředím nespokojené (přílišný chlad nebo teplo). ČSN EN ISO 7730 uvádí, že nespokojené osoby jsou takové, které volí na stupnici PMV hodnotu horko, teplo, chladno nebo zima. Pro výpočet PPD je nutné znát hodnotu PMV: [12]

$$PPD(\%) = 100 - 95 \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) \quad (9)$$

Ze získaných údajů lze zobrazit následující grafickou závislost předpovědi procentuálního podílu nespokojených na předpovědi středního tepelného pocitu, viz obrázek (Obr. 2):



Obr. 2: PPD jako funkce PMV

## 2.2 Akustika

Stavební akustika je oborem akustiky budov, který se zabývá především zvukovou izolací v budovách, tedy ochranou před nadměrným hlukem a vibracemi a zajištěním optimálních akustických vlastností prostorů s ohledem na jejich užívání. Požadavky na ochranu proti hluku jsou dány normou ČSN 73 0532 a přípustné hodnoty hluku nařízením vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Hluk, který vzniká uvnitř budovy, se dělí na hluk šířený vzduchem – mluvená řeč, hudba apod., a hluk šířený konstrukcemi (kročejový) – vzniká mechanickým impulsem na konstrukci, např. chůze, činnost člověka, pád předmětu, přenosem vibrací apod. [14]

Při posuzování zvukové izolace pak hovoříme o vzduchové a kročejové neprůzvučnosti.

*Vzduchová neprůzvučnost*,  $R$  [dB] – schopnost stavebního prvku omezovat přenos zvuku přenášeného vzduchem přes tento prvek z místnosti zdroje do místnosti příjmu. Vážené hodnoty vzduchové neprůzvučnosti  $R'_w$  [dB] nesmí být nižší než požadované hodnoty, musí platit  $R'_w \geq R'_{w,rec}$ , příp.  $R'_{DnT} \geq R'_{DnT,rec}$  nemají-li společnou dělicí příčku. [13]

*Kročejová neprůzvučnost,  $L$  [dB]* – vyjadřuje schopnost stavebních prvků nebo částí budov omezovat přenos kročejového zvuku mezi místnostmi. Vážené normované hladiny akustického tlaku kročejového zvuku nesmí překročit hodnoty uvedené v normě, musí tedy platit, že  $L'_{n,w} \leq L'_{n,w,rec}$ , příp.  $L'_{nT,w} \leq L'_{nT,w,rec}$  není-li buzená konstrukce společnou dělicí konstrukcí, například pro horizontální přenos kročejového zvuku. [16]

Základními veličinami stavební akustiky je akustický výkon, tlak a intenzita zvuku:

- akustický výkon  $P$ , ve  $W$  – veličina popisující zdroj hluku;
- akustický tlak  $p$  v  $Pa$  – změna tlaku vzduchu;
- intenzita zvuku  $I$ , ve  $W/m^2$  – plošná hustota akustického výkonu.

Akustická intenzita v decibelech se nazývá hladina akustické intenzity  $L$  [dB], případně hladina akustického tlaku, kdy je poměr intenzit nahrazen poměrem druhých mocnin akustického tlaku  $L$  [dB], platí:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_{ref}} = 10 \log \frac{p^2}{p_{ref}^2} = 20 \log \frac{p}{p_{ref}} \quad (10)$$

kde:  $I_{ref}$  je referenční intenzita zvuku  $I_{ref} = 10^{-12} W/m^2$ ;

$p_{ref}$  referenční akustický tlak  $p_{ref} = 2 \cdot 10^{-5} Pa$ .

Zvuk o různých frekvencích je vnímán s různou citlivostí. Z tohoto důvodu byly zavedeny váhové filtry, které upravují citlivost zvukoměru – každé frekvenční pásmo má jinou váhu podle přidělených korekcí. Každé pásmo je změřeno zvlášť, je k němu připočtena korekce  $K_A$  [dB] dána normou, a teprve potom jsou jednotlivá pásma sečtena. Vzniklá veličina se nazývá hladina akustického tlaku. Typické rozsahy jsou v tabulce (Tab. 9), hodnoty jsou dle normy ČSN EN 15251. Hladina akustického tlaku  $A$  se vypočte podle vztahu:

$$L_A = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_i + K_{Ai})} \quad (11)$$

kde  $n$  je počet frekvenčních (oktávových) pásem. [y4]

Tab. 9: Hladina akustického tlaku  $A$  dle ČSN EN 15251

Prostor	Hladina akustického tlaku $A$ [dB]	
	Typický rozsah	Návrhová hodnota
Obývací pokoj	25 až 40	32
Ložnice	20 až 35	26
Záchody	40 až 50	45
Knihovny	28 až 35	30

## 2.3 Osvětlení

Jedním z požadavků hygieniků je i osvětlení vnitřního prostředí. Kvalitní osvětlení snižuje riziko chyb a pracovních úrazů. Osvětlení ve vnitřním prostředí lze rozdělit na přirozené osvětlení, umělé osvětlení a sdružené osvětlení.

**Denní (přirozené) osvětlení** je přirozené sluneční osvětlení. Vyskytuje se tedy pouze v průběhu dne mezi východem a západem Slunce a jedná se tedy o nestálý zdroj světla. Při návrhu denního osvětlení v interiérech budov je nutné zachovat zrakovou pohodu člověka jak při přímém slunečním světle, tak i při jasné, polojasné až úplně zatažené obloze. Sleduje se zde činitel denního osvětlenosti  $e$  [%], jehož minimální hodnota ve všech bodech místností je 0,5 %. Průměrná hodnota činitele musí být minimálně 2 %. [17]

**Umělé osvětlení** je dáno v luxech [lx]. Hodnoty se pohybují v mezích 100 lx až 1000 lx. Umělé osvětlení slouží k vytváření světelného klimatu v době, kdy není možné využít osvětlení denního. Požadavky na umělé osvětlení jsou v tabulce (Tab. 10).

Tab. 10: Požadavky na umělé osvětlení

Umělé osvětlení [lx]	Místo/činnost
50 až 100	Obytné místnosti s místním osvětlením
200 až 500	Pracovní prostor bez místního osvětlení
200	Jídlo
300	Studium, psaní, kreslení, kuchyně apod.
500	Jemné ruční práce
75	Komunikace v bytě
100	Obytné kuchyně, koupelny, toalety

Druhy umělého osvětlení:

- celkové – rovnoměrné osvětlení prostoru bez ohledu na zvláštní místní požadavky;
- odstupňované – v různých částech prostoru je osvětlení s vyšší intenzitou;
- místní – doplňuje celkové, samostatné ovládání (bodové – zvyšuje osvětlenost);
- kombinované – celkové nebo odstupňované osvětlení je doplněno místním.

**Sdružené osvětlení** je kombinací denního a umělého osvětlení. Při dlouhodobém působení na člověka není v plném rozsahu rovnocenné dennímu osvětlení, ale je mnohem příznivější než umělé. Sdružené osvětlení se používá v místech, kde je nedostatečné denní osvětlení a je třeba ho doplnit umělým osvětlením (např. šatny, jídelny, kumbály, kuchyně, koupelny a zasedací místnosti).

## 2.4 Výměna vzduchu

Kvalita vnitřního vzduchu je závislá zejména na kvalitě venkovního ovzduší, objemu vzduchu připadajícího na osobu v místnosti, výměně vzduchu, větracím systému, množství škodlivin. Škodliviny, které ovlivňují kvalitu vnitřního vzduchu, jsou oxid uhličitý, oxidy dusíku, těkavé látky, prach, oděry, roztoči a mikroorganismy.

Oděry – plynné složky ovzduší produkované člověkem a jeho činností, příp. uvolňované ze stavebních konstrukcí. V interiéru vzniká při pobytu lidí  $\text{CO}_2$  a tělesné pachy. Kriteriaální hodnota se udává koncentrace 0,10 %  $\text{CO}_2$  (Pettenkoferovo kritérium). [18]

Toxické mikroklima – plynné toxické látky s patologickými účinky. Např.: oxidy síry a dusíku, oxid uhelnatý, ozon, smog apod. [18]

Mikroorganismy v ovzduší - pyly, bakterie, viry, plísňe a jejich spory. [18]

Pro výměnu vzduchu v prostorách je rozhodujícím kritériem koncentrace  $\text{CO}_2$ . Stanovení množství přírodního vzduchu lze podle:

- počtu osob;
- půdorysné plochy;
- produkce škodlivin;
- doporučené intenzity výměny vzduchu.

**Intenzita větrání  $n$  [ $\text{h}^{-1}$ ]** – poměr objemového průtoku přiváděného čerstvého vzduchu k objemu vnitřního větraného prostoru. Intenzita větrání musí splňovat:

$$n \geq n_N \quad (12)$$

kde  $n_N$  je požadovaná intenzita větrání.

Současně musí intenzita větrání místnosti v otopném období splňovat požadavek:

$$n \leq 1,5n_N \quad (13)$$

Základní požadavek dle ČSN EN 15 665/Z1 je zajištění trvalého přívodu venkovního vzduchu s minimální intenzitou větrání  $0,3 \text{ h}^{-1}$  v obytných prostorech a kuchyních. Pro vyšší kvalitu vnitřního vzduchu se doporučuje, v souladu s ČSN EN 15251,  $0,5$  až  $0,7 \text{ h}^{-1}$ . V době kdy obytné budovy nejsou dlouhodobě užívány, lze připustit provoz s  $n = 0,1 \text{ h}^{-1}$  vztaženou k celkovému vnitřnímu objemu domu. [19]

Doplňujícím kritériem je minimální dávka čerstvého vzduchu pro osoby. Vždy musí být splněn požadavek na minimální intenzitu větrání. Při řízení větracího systému podle kvality vzduchu je doplňujícím kritériem koncentrace oxidu uhličitého v obytném prostoru. [19]

Tab. 11: Intenzita větrání dle ČSN EN 15665/Z1

Požadavek	Trvalé větrání (venkovní vzduch)	
	$n$ [h <sup>-1</sup> ]	$q$ [m <sup>3</sup> /(h · os)]
Minimální hodnota	0,3	15
Doporučená hodnota	0,5	25

Norma ČSN EN 12831 pro výpočet tepelných ztrát dále definuje pro energetické výpočty minimální intenzitu výměny venkovního vzduchu podle tabulky (Tab. 12):

Tab. 12: Intenzita výměny venkovního vzduchu dle ČSN EN 12831

Druh místnosti	$n_{\min}$ [h <sup>-1</sup> ]
Obytné místnosti (základní)	0,5
Kuchyně, koupelna	1,5
Kancelář	1,0
Zasedací místnost, učebna	2,0

Množství přiváděného vzduchu z hlediska jeho kvality, tedy obsahu oxidu uhličitého, se vypočítá podle vzorce:

$$\dot{V}_P = \frac{s}{k_m - k_a} \quad (14)$$

kde  $\dot{V}_P$  je minimální množství přiváděného vzduchu, v m<sup>3</sup>/h;  
 $s$  objemový tok vznikajících škodlivin, v g/h;  
 $k_m$  mezní hodnota koncentrace CO<sub>2</sub> v odváděném vzduchu;  
 $k_a$  koncentrace CO<sub>2</sub> v přiváděném vzduchu.

Z uvedené rovnice je možné vypočítat minimální množství přiváděného vzduchu. Např. pro osobu, která vydechuje 0,5 m<sup>3</sup>/h vzduchu s koncentrací CO<sub>2</sub> 4% a přiváděný vzduch má koncentraci CO<sub>2</sub> 0,035%, je při dodržení Pettenkoferova kritéria (koncentrace CO<sub>2</sub> ve vzduchu je maximálně 0,1%) minimální množství přiváděného vzduchu rovno:

$$\dot{V}_P = \frac{s}{k_m - k_a} = \frac{0,5 \cdot 0,04}{0,001 - 0,00035} = 30,77 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 3 VNĚJŠÍ KLIMATICKÉ PODMÍNKY

Vnější prostředí značně ovlivňuje stav prostředí vnitřního, a také má vliv na tepelné ztráty, případně zisky budovy. Vnější klimatické podmínky prostředí jsou důležité také při návrhu tepelně-technického provedení budovy a návrhu systémů techniky prostředí.

Podmínky vnějšího prostředí lze charakterizovat především těmito základními faktory:

- teplota vnějšího vzduchu;
- vlhkost vzduchu;
- rychlost a směr proudění vzduchu;
- sluneční záření.

**Teplota vnějšího vzduchu** – ovlivněna intenzitou slunečního záření, nadmořskou výškou, lokalitou a rychlostí proudění vzduchu. Její hodnota se během dne mění, přičemž v ČR je nejvyšší teploty vnějšího vzduchu dosaženo v 15 hodin a nejnižší ve 3 hodiny. Průměrné výpočtové teploty pro různé lokality jsou uvedeny v normě ČSN 73 0540. Dále je možné v normě dohledat průměrné teploty pro různou nadmořskou výšku v jednotlivých měsících.

**Vlhkost vzduchu** – podobně jako teplota vnějšího vzduchu je i jeho vlhkost ovlivněna lokalitou, roční i denní dobou, intenzitou vodních srážek. Relativní vlhkost vzduchu se mění v závislosti na teplotě vzduchu. Při různých teplotách se mění současně tlak vzduchu i parciální tlak vodních par v něm.

**Rychlost a směr proudění vzduchu** – proudění vzduchu je přímo úměrné úrovni rozdílu tlaku vzduchu, který určuje i směr proudění vzduchu. Vliv proudění vzduchu se projeví zejména v soustavách přirozeného větrání. V ČR se rychlost větru pohybuje v rozmezí od 2 m/s do 8 m/s, nárazově až 18 m/s.

**Sluneční záření** – energie získaná ze slunečního záření je hlavní složkou zdroje tepla a světla. Intenzita slunečního záření, solární konstanta, nabývá hodnot 1340 až 1390 W/m<sup>2</sup>.

Ve vztahu k budovám se sluneční energie sdílí konvekcí i radiací skrz stěnové konstrukce a prosklené plochy. Množství získané energie je ovlivněno orientací a geografickou polohou domu, azimutem Slunce a osluněné plochy a stavu znečištění oblohy. Znečištění oblohy lze charakterizovat součinitelem znečištění, jež je závislý na atmosférickém tlaku a obsahu nečistot v ovzduší. Jeho nejnižší hodnoty je dosaženo v horských oblastech a na venkově. Nejhorší znečištění je poté ve městech a průmyslových oblastech.

## 4 STAVEBNÍ FYZIKA

Stavební fyzika, oblast tepelné ochrany budov, řeší problematiku energetické náročnosti budov, kterou ovlivňuje především šíření tepla konstrukcemi a obálkou budovy, vlhkost a kondenzace vodních par v konstrukcích, šíření vzduchu a související tepelná stabilita.

### 4.1 Šíření tepla konstrukcí a obálkou budovy

Tepelněizolační vlastnosti budov jsou dány zejména součinitelem prostupu tepla, který je dán skladbou jednotlivých konstrukcí a průměrným součinitelem prostupu tepla, který je vztažen k budově jako celku. Dále je nutné dbát na normativně stanovené požadavky na nejnižší vnitřní povrchové teploty konstrukcí a pokles dotykové teploty povrchů.

#### 4.1.1 Součinitel prostupu tepla

Pro stanovení tepelněizolační schopnosti stavební konstrukce jsou základními veličinami tepelný odpor  $R$  a součinitel prostupu tepla  $U$ . Pro určení těchto veličin je potřeba znát skladbu konstrukce, tj. tloušťky jednotlivých vrstev  $d$  a jejich součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$ . Dále je potřeba zohlednit typ konstrukce, směr tepelného toku a polohu konstrukce. [20]

Součinitel prostupu tepla konstrukce  $U$ , ve  $W/(m^2K)$ , se vypočítá pomocí vzorce:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \quad (15)$$

kde  $R_{si,e}$  je tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní nebo vnější straně, v  $m^2K/W$ ;

$R$  tepelný odpor konstrukce, v  $m^2K/W$ .

přičemž platí:

$$R = \sum \frac{d}{\lambda}, \quad R_{si,e} = \frac{1}{h_{i,e}} \quad (16)$$

kde  $d$  je tloušťka vrstvy konstrukce, v m;

$\lambda$  součinitel tepelné vodivosti vrstvy konstrukce, ve  $W/(mK)$ ;

$h_{i,e}$  součinitel přestupu tepla na vnitřní nebo vnější straně, v  $m^2K/W$ .

Poté je možné součinitel prostupu tepla vypočítat následovně:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_e}} \quad (17)$$

Do tepelného odporu konstrukce se obvykle uvažují vrstvy, jež jsou chráněny před účinky vlhkosti, např. u střešních jsou to vrstvy chráněné hydroizolací. V případě obrácené skladby střešních je uvažována i vrstva extrudovaného polystyrenu. U dvouplášťových konstrukcí se uvažují vrstvy vnitřního pláště, tj. od vnitřního líce konstrukce k větrané vzduchové vrstvě. U konstrukce ve styku se zemínou se počítají vrstvy nad hydroizolací. V případě použití nenasákavé tepelné izolace pod hydroizolací, např. extrudovaného polystyrenu nebo pěnového skla, se ve výpočtu uvažuje i tato izolace. [20]

Tepelné odpory na vnitřní a vnější straně konstrukce při přestupu tepla jsou stanoveny normou ČSN 73 0540-3, jejich základní hodnoty jsou uvedeny v tabulce (Tab. 13):

Tab. 13: Tepelné odpory konstrukce dle ČSN 73 0540-3

Druh	Konstrukce	Tepelný odpor $R_{si}$ a $R_{se}$ [ $m^2K/W$ ]
Vnější	Jednoplášťová	0,04
	Dvouplášťová	Jako $R_{si}$
Zemina	Styk se zemínou	0
Vnitřní	Stěna	0,13
	Střecha (tepelný tok nahoru)	0,10
	Podlaha (tepelný tok dolů)	0,17

Konstrukce vytápěných budov musí mít v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu  $\varphi_i \leq 60\%$  součinitele prostupu tepla  $U$  takový, aby splňoval podmínku:

$$U \leq U_N \quad (18)$$

kde  $U_N$  je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla, ve  $W/(m^2K)$ .

Požadovaná hodnota  $U_N$  se stanoví pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou v intervalu 18 °C až 22 °C podle hodnot stanovených v normě ČSN 73 0540. Pro budovy s odlišnou převažující návrhovou vnitřní teplotou se hodnota stanoví ze vztahu:

$$U_N = U_{N,20} \cdot e_1 \quad (19)$$

$$e_1 = 16/(\theta_m - 4) \quad (20)$$

kde  $U_{N,20}$  je součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540, ve  $W/(m^2K)$ ;

$e_1$  součinitel typu budovy;

$\theta_m$  převažující návrhová vnitřní teplota, ve °C.

Tabulka (Tab. 14) obsahuje výběr požadovaných a doporučených hodnot součinitele prostupu tepla pro konstrukce, které se nacházejí v budově řešené touto prací.

Tab. 14: Výběr požadovaných a doporučených hodnot součinitele prostupu tepla

Konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m <sup>2</sup> K)]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučení pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Vnější stěna lehká	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Vnější stěna těžká		0,25	
Střecha se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop a podlaha nad exteriérem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20
Strop mezi prostory s $\Delta\theta \leq 5\text{ °C}$	2,20	1,45	–
Stěna mezi prostory s $\Delta\theta \leq 5\text{ °C}$	2,70	1,80	–
Výplň otvoru, kromě dveří	1,50	1,20	0,8 až 0,6
Výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do exteriéru	1,40	1,10	0,9
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do exteriéru (včetně rámu)	1,70	1,20	0,9

#### 4.1.2 Průměrný součinitel prostupu tepla

Objekt musí splňovat požadavek na průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em}$ , ve W/(m<sup>2</sup>K):

$$U_{em} \leq U_{em,N} \quad (21)$$

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

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} = \frac{\sum U_j A_j b_j}{A} + \Delta U_{tbm} \quad (22)$$

kde  $H_T$  je měrná ztráta prostupem tepla, ve W/K, (stanovení vnějšími rozměry);

$A$  teplosměnná plocha obálky budovy stanovena součtem ploch  $A_j$ , v m<sup>2</sup>;

$U_j$  součinitel prostupu tepla j-té konstrukce, včetně vlivu tepelných mostů;

$b_j$  činitel teplotní redukce;

$\Delta U_{tbm}$  průměrný vliv tepelných vazeb, ve W/(m<sup>2</sup>K). [21]

Hodnoty průměrného vlivu tepelných vazeb  $\Delta U_{tb}$  jsou stanoveny v normě ČSN EN 12831, kde jsou různé hodnoty pro konstrukce svislé, vodorovné a pro otvorové výplně. Základní hodnoty použitelné dále pro práci jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 15).

Tab. 15: Průměrný vliv tepelných vazeb konstrukcí

Vodorovné stavební části	Stran v kontaktu s vnějším prostředím	$\Delta U_{tb}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
	1	0
	2	0,05
Otvorové výplně	Plocha stavební části [m <sup>2</sup> ]	$\Delta U_{tb}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
	0 až 2	0,50
	>2 až 4	0,40
	>4 až 9	0,30

Pro konstrukce se shodným zastoupením tepelných mostů lze využít pro přibližné výpočty hodnoty pro celkový průměrný vliv tepelných vazeb uvedených v tabulce (Tab. 16).

Tab. 16: Celkový průměrný vliv tepelných vazeb

Celkový průměrný vliv tepelných vazeb	
Konstrukce	$\Sigma \Delta U_{tbk}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
téměř bez tepelných mostů (projektový předpoklad)	0,02
s mírnými tepelnými mosty (standardní řešení)	0,05
s běžnými tepelnými mosty (dříve standardní)	0,10
s výraznými tepelnými mosty (zanedbané řešení)	0,15 a více

### Měrná ztráta prostupem tepla $H_T$

Měrná tepelná ztráta prostupem tepla  $H_T$ , ve W/K, se stanoví buď postupem dle normy ČSN EN 12831, který je popsán v následující kapitole, tepelné ztráty, nebo ze vztahů:

$$H_T = \Sigma(A_j U_j b_j) + A \cdot \Delta U_{tbm} \quad (23)$$

$$H_T = \Sigma(A_j U_j b_j) + \Sigma(\Psi_j \ell_j b_j) + \Sigma(\chi_j b_j) \quad (24)$$

kde  $\Psi_j$  je lineární činitel prostupu tepla vazby mezi konstrukcemi, ve W/(m·K);

$\ell_j$  délka lineární tepelné vazby mezi konstrukcemi v rámci budovy, v m;

$\chi_j$  bodový činitel prostupu tepla tepelné vazby, ve W/(m<sup>2</sup>K).

Návrhové hodnoty činitele teplotní redukce podle ČSN 73 0540-3 jsou uvedeny v tabulce (Tab. 17). Přesnější určení činitelů teplotní redukce je pomocí výpočtů v ČSN EN 12831.

Tab. 17: Návrhové hodnoty činitele teplotní redukce podle ČSN 73 0540-3 [22]

Typ konstrukce	Činitel teplotní redukce $b_j$ [–]	
	Vnitřní prostředí	
	Vytápěné	Částečně vytápěné
Konstrukce k venkovnímu prostředí		
Výplně otvorů	1,15	0,82
Střechy, stěny vnější	1,00	0,71
Konstrukce přilehlé k nevytápěnému prostoru		
Podstřešní prostor – neizolované, netěsněné	0,83	0,54
Podstřešní prostor – izolované, těsněné	0,57	0,29
Suterén – zčásti nad terénem	0,49	0,20
Garáž, zimní zahrada apod.	0,49	0,20
Konstrukce přilehlé k zemině	0,66 až 0,43 <sup>1)</sup>	0,52 až 0,20 <sup>1)</sup>
<sup>1)</sup> V závislosti na vzdálenosti od venkovního povrchu, přesněji dle ČSN EN 12831		

**Požadovaná a doporučená hodnota**

Požadovaná hodnota  $U_{em,N}$  se stanoví pro obytné budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou v intervalu 18 °C až 22 °C včetně výpočtem pro každý posuzovaný případ metodou referenční budovy, nejvýše však dle tabulky (Tab. 18).

Pro budovy s odlišnou převažující návrhovou vnitřní teplotou se  $U_{em,N,20}$  určí vztahem:

$$U_{em,N} = U_{em,N,20} \cdot e_1 \quad (25)$$

kde  $U_{em,N,20}$  je průměrný součinitel prostupu referenční budovy, nejvýše 0,5 W/(m<sup>2</sup>K).

Doporučená hodnota  $U_{em,rec}$  se stanoví podle vztahu:

$$U_{em,rec} = 0,75 \cdot U_{em,N} \quad (26)$$

Tab. 18: Požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla

Typ budovy	Požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla $U_{em,N,20}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
Nové obytné budovy	Dle výpočtu, nejvýše 0,50
Ostatní	Dle výpočtu, nejvýše pro objemový faktor: $A/V \leq 0,2 \rightarrow U_{em,N,20} = 1,50$ $A/V > 1,0 \rightarrow U_{em,N,20} = 0,45$ Ostatní $\rightarrow U_{em,N,20} = 0,30 + 0,15/(A/V)$

### Referenční budova

Referenční budova je virtuální budova stejných rozměrů, prostorového, shodného účelu a shodného umístění, jako budova hodnocená, jejíž obálka je tvořena konstrukcemi se součiniteli prostupu tepla odpovídající právě příslušné normou požadovaného hodnotě. [1]

Hodnota  $U_{em,N,20}$  referenční budovy se stanoví pomocí vztahu:

$$U_{em,N,20} = \frac{\sum U_{Nj} A_j b_j}{A} + 0,02 \quad (27)$$

kde  $U_{Nj}$  je odpovídající normová požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla;

$A_j$  plocha j-té konstrukce stanovena z vnějších rozměrů, v m<sup>2</sup>;

$b_j$  činitel teplotní redukce, bezrozměrný. Pro výplně otvorů se neuplatňuje zvýšení činitele  $b$  o 15 %. [1]

#### 4.1.3 Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce

Povrchová teplota konstrukce je důležitým faktorem, který ovlivňuje možnost kondenzace vodních par nebo vzniku plísní. S vnitřní povrchovou teplotou  $\theta_{si}$  přímo souvisí teplotní faktor vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$  [–]. Pro  $f_{Rsi}$  a  $\theta_{si}$  v prostorech s vnitřní návrhovou vlhkostí vzduchu  $\varphi_i \leq 60\%$  platí:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_{ai} - \theta_e} \quad (28)$$

$$\theta_{si} = \theta_{ai} - 1(1 - f_{Rsi})(\theta_{ai} - \theta_e) \quad (29)$$

kde  $\theta_{si}$  je teplota vnitřního povrchu konstrukce, ve °C;

$\theta_{ai}$  návrhová teplota vnitřního vzduchu, ve °C;

$\theta_e$  návrhová teplota vnějšího vzduchu, ve °C.

Dle ČSN EN 73 0540-2 a EN ISO 13788 je nutné dodržet podmínku:

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N} \quad (30)$$

$$f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 1 - \frac{237,3 + 2,1 \cdot \theta_{ai}}{\theta_{ai} - \theta_e} \cdot \frac{1}{1,1 - 17,269/\ln(\varphi_{i,r}/\varphi_{si,cr})} \quad (31)$$

kde  $f_{Rsi,N}$  je nejnižší, kritická, požadovaná hodnota teplotního faktoru, bezrozměrná;

$\varphi_{i,r}$  relativní vlhkost vnitřního vzduchu  $\varphi_i$  s bezpečnostní přírážkou  $\Delta\varphi_i$  v %;

$\varphi_{si,cr}$  kritická vnitřní povrchová vlhkost, v %.

Kritická vnitřní povrchová vlhkost je pro výplně otvorů  $\varphi_{si,cr} = 100 \%$ , při které dochází k orosování, pro ostatní konstrukce je  $\varphi_{si,cr} = 80 \%$ , při které vzniká riziko vzniku plísní.

#### 4.1.4 Pokles dotykové teploty

Poklesem dotykové teploty  $\Delta\theta_{10,N}$  se hodnotí množství odnímaného tepla při dotyku mírně chráněné části lidského těla s chladnějším povrchem stavební konstrukce. Hodnotí se především u podlah. Pokles dotykové teploty  $\Delta\theta_{10}$ , ve  $^{\circ}\text{C}$ , se stanoví ze vztahu: [21]

$$\Delta\theta_{10} = (33 - \theta_{sim}) \frac{B}{1117 + B} \quad (32)$$

kde  $\theta_{sim}$  je průměrná vnitřní povrchová teplota podlahy, ve  $^{\circ}\text{C}$ ;

$B$  tepelná jímavost podlahy, ve  $\text{W} \cdot \text{s}^{0,5} / (\text{m}^2\text{K})$ .

Pokles dotykové teploty se nemusí ověřovat pro podlahy pokryté textilní podlahovinou nebo s povrchovou teplotou trvale vyšší než  $26^{\circ}\text{C}$ .

Norma ČSN 73 0540-2 podle poklesu dotykové teploty dělí podlahy do kategorií, které stanovuje a doporučuje do místností podle jejich účelu, viz tabulky (Tab. 19 a Tab. 20).

Tab. 19: Kategorie podlah podle poklesu dotykové teploty

Kategorie podlah	Pokles dotykové teploty $\Delta\theta_{10,N} [^{\circ}\text{C}]$
I. Velmi teplé	do 3,8 včetně
II. Teplé	do 5,5 včetně
III. Méně teplé	do 6,9 včetně
IV. Studené	od 6,9

Tab. 20: Požadované a doporučené kategorie podlah - obytná budova

Místnost	Kategorie podlahy	
	Požadovaná	Doporučená
Pokoj, ložnice	I.	
Obývací pokoj, pracovna, kuchyň	II.	I.
Koupelna, WC	III.	II.
Předsín před vstupem do bytu	IV.	III.

## 4.2 Vlhkost ve stavební konstrukci

V konstrukci, oddělující dvě prostředí s rozdílnými teplotami vnějšího a vnitřního vzduchu a také jejich relativních vlhkostí, dochází k difuzi vodní páry z prostředí s vyšší vlhkostí, tj. s vyšším částečným tlakem vodní páry do prostředí s nižší vlhkostí, tj. nižším částečným tlakem vodní páry. Při poklesu teploty pod teplotu rosného bodu dochází k rovnosti částečného tlaku vodních par a tlaku nasycených vodních par, tj. k jejich kondenzaci. [23]

Dílčí množství zkondenzované (vypařitelné) vodní páry  $M_{aj}$ , v  $\text{kg/m}^2$ , se stanoví:

$$M_{aj} = (g_{Aj} - g_{Bj})t_{ej} \quad (33)$$

kde  $g_{A,Bj}$  je hustota difuzního toku vodní páry, od vnitřního povrchu k hranici A oblasti kondenzace, nebo od hranice B k vnějšímu povrchu, v  $\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$ ;  
 $t_{ej}$  celková doba trvání teploty venkovního vzduchu pro j-tou vrstvu.

Ke kondenzaci vodní páry nesmí dojít uvnitř stavebních konstrukcí, u kterých by mohla ohrozit jejich funkci. Pro zkondenzované množství vodní páry  $M_c$ , v  $\text{kg/m}^2$ , platí:

$$M_c = 0 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{a}) \quad (34)$$

Stavební konstrukce, u které kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce neohroží její funkci, je nutné, aby roční množství zkondenzované vodní páry  $M_c$ , v  $\text{kg/m}^2$ , splňovalo:

$$M_c \leq M_{c,N} \quad (35)$$

Pro jednoplášťovou střechu, konstrukce s dřevěnými prvky, s vnějším tepelněizolačním systémem, popř. jinou obvodovou konstrukci s difúzně málo propustnými vnějšími povrchovými vrstvami platí: [1]

$$M_{c,N} = 0,10 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{a}) \quad (36)$$

Ostatní stavební konstrukce musí splňovat:

$$M_{c,N} = 0,50 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{a}) \quad (37)$$

Stavební konstrukce musí splňovat výše uvedené požadavky a zároveň požadavek na roční bilanci kondenzace a vypařování vodní páry uvnitř konstrukce. Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_c$  musí být nižší, než roční množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev}$ :

$$M_c < M_{ev} \quad (38)$$

### 4.3 Tepelná stabilita místností

Tepelná stabilita místností hodnotí vnitřní prostory z hlediska poklesu vnitřní teploty v zimním období a z hlediska vzestupu teploty vzduchu, popř. její nejvyšší hodnotu v místnosti v letním období.

#### 4.3.1 Pokles výsledné vnitřní teploty v zimním období

Požaduje se, aby kritická místnost na konci doby chladnutí  $t$  vykazovala pokles výsledné teploty v místnosti v zimním období  $\Delta\theta_v(t)$  podle vztahu:

$$\Delta\theta_v(t) \leq \theta_{v,N}(t) \quad (39)$$

kde  $\theta_{v,N}(t)$  je požadovaná hodnota poklesu výsledné teploty dle tabulky (Tab. 21).

Tab. 21: Pokles výsledné teploty v místnosti v zimním období [1]

Druh místnosti (prostoru)	Pokles teploty $\theta_{v,N}(t)$ [°C]
S pobytem lidí po přerušení vytápění	
- vytápění radiátory, sálavými panely a teplovzdušně	3
- vytápění kamny a podlahovým vytápěním	4
Bez pobytu lidí po přerušení vytápění	
- při přerušení topnou přestávkou	6

#### 4.3.2 Tepelná stabilita v letním období

Nejvyšší denní teploty vzduchu v letním období se posuzují pro kritické místnosti. Kritická místnost je ta, která má největší osluněnou plochu orientovanou na Z, JZ, J, JV a V v poměru k podlahové ploše tohoto prostoru. Nejvyšší teplota  $\theta_{ai,max}$  musí splnit požadavek:

$$\theta_{ai,max} \leq \theta_{ai,max,N} \quad (40)$$

kde  $\theta_{ai,max,N}$  je požadovaná hodnota nejvyšší denní teploty vzduchu v letním období.

Tab. 22: Nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti v letním období [1]

Druh budovy		Nejvyšší denní teplota vzduchu $\theta_{ai,max,N}$ [°C]
Nevýrobní <sup>1)</sup>		27,0
Ostatní s vnitřním zdrojem tepla	do 25 W/m <sup>2</sup> včetně	29,5
	nad 25 W/m <sup>2</sup>	31,5
<sup>1)</sup> U obytných budov lze připustit překročení hodnoty o maximálně 2 °C po dobu 2 hodin – pokud investor souhlasí		

## 5 TEPELNÉ ZTRÁTY A TEPELNÝ VÝKON

Na základě tepelných ztrát se stanovuje celkový návrhový tepelný výkon pro funkční části budovy nebo celou budovu, který je základem pro dimenzování zdrojů tepla. Výpočet tepelného výkonu má následující postup:

- stanovení hodnoty výpočtové venkovní teploty a průměrné roční venkovní teploty;
- stanovení stavu prostor a hodnot pro výpočtovou vnitřní teplotu;
- stanovení rozměrových a tepelných vlastností prostor;
- výpočet návrhových tepelných ztrát prostupem tepla vytápěných prostor;
- výpočet návrhových tepelných ztrát větráním všech vytápěných prostor;
- stanovení celkové návrhové tepelné ztráty;
- výpočet zátopových výkonů všech vytápěných prostorů;
- stanovení návrhového celkového tepelného výkonu. [24]

Pro stanovení tepelného výkonu je třeba znát několik údajů, mezi tyto patří:

- výpočtová venkovní teplota  $\theta_e$ ;
- průměrná roční venkovní teplota  $\theta_{m,e}$ ;
- výpočtová vnitřní teplota  $\theta_{int,i}$ ;
- údaje o budově:
  - vnitřní objem vzduchu každé místnosti;
  - plocha každé stavební části;
  - součinitel prostupu tepla každé stavební části;
  - lineární činitel prostupu tepla každého tepelného mostu;
  - délka lineárního tepelného mostu.

Výpočtová venkovní teplota, průměrná venkovní teplota, výška nad mořem, počet dní otopného období pro vybrané oblasti a vnitřní teploty pro různé prostory obytných budov jsou uvedeny v tabulkách (Tab. 23 a Tab. 24).

Tab. 23: Výpočtové vnější podmínky vybraných lokalit

Místo	m.n.m. [m]	$\theta_e$ [°C]	$\theta_{m,e}$ [°C]	$d$ [dny]
Břeclav (Lednice)	159	-12	3,9	245
Brno	227	-12	4,0	232
Olomouc	226	-15	3,8	231
Zlín (Napajedla)	234	-12	4,0	226

Tab. 24: Výpočtová vnitřní teplota obytných prostor

Prostor	$\theta_{\text{int},i}$ [°C]
Obývací místnosti	20
Kuchyně	20
Koupelny	24
Vedlejší místnosti, předsín, chodby, aj.	15
Občasné využívané, mimo provoz	5
Místnosti chráněné proti mrazu	5

## 5.1 Celková návrhová tepelná ztráta

Celková návrhová tepelná ztráta vytápěného prostoru  $\Phi_i$ , ve W, se vypočítá rovnicí:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad (41)$$

kde  $\Phi_{T,i}$  je návrhová tepelná ztráta prostupem tepla prostoru (i), ve W;

$\Phi_{V,i}$  návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i), ve W.

### 5.1.1 Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla

Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla  $\Phi_{T,i}$ , ve W, se vypočítá rovnicí:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij})(\theta_{\text{int},i} - \theta_e) \quad (42)$$

kde  $H_{T,ie}$  je součinitel tepelné ztráty prostupem pláštěm budovy, ve W/K;

$H_{T,iue}$  součinitel tepelné ztráty prostupem nevytápěným prostorem, ve W/K;

$H_{T,ig}$  součinitel tepelné ztráty prostupem do zeminy, ve W/K;

$H_{T,ij}$  součinitel tepelné ztráty z vytápěného do sousedního prostoru vytápěného na výrazně jinou teplotu, ve W/K.

$\theta_{\text{int},i}$ ,  $\theta_e$  vnitřní a vnější výpočtová teplota, ve °C.

Pozn.: součinitel tepelné ztráty se též označuje jako měrná ztráta tepla (použito i v práci).

#### Součinitel tepelné ztráty do venkovního prostředí, $H_{T,ie}$

Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru přímo do vnějšího prostředí  $H_{T,ie}$ , ve W/K, zahrnuje všechny stavební části a lineární tepelné mosty, které oddělují vnitřní prostor od vnějšího prostředí, jako jsou stěny, podlaha, strop a výplně otvorů. Výpočet je dle rovnice:

$$H_{T,ie} = \sum A_k U_k e_k + \sum \Psi_l l_l e_l \quad (43)$$

- kde  $e_k, e_l$  je korekční činitel vystavení povětrnostním vlivům. Základní hodnota je 1,0;  
 $A_k$  plocha stavební části, v  $m^2$ ;  
 $U_k$  součinitel prostupu tepla stavební části, ve  $W/(m^2K)$ ;  
 $\Psi_l$  činitel lineárního prostupu tepla lineárního tepelného mostu, ve  $W/(m \cdot K)$ ;  
 $l_l$  délka lineárního tepelného mostu, v m.

*Zjednodušená metoda stanovení lineárních tepelných ztrát*

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb} \quad (44)$$

- kde  $U_{kc}$  je korigovaný součinitel prostupu tepla, zahrnuje tepelné mosty, ve  $W/(m^2K)$ ;  
 $\Delta U_{tb}$  korekční součinitel závisející na druhu stavební části, ve  $W/(m^2K)$ .

**Součinitel tepelné ztráty nevytápěným prostorem,  $H_{T,iue}$**

$$H_{T,iue} = \sum A_k U_k b_u + \sum \Psi_l l_l b_u \quad (45)$$

- kde  $b_u$  je teplotní redukční činitel dle přílohy ČSN EN 12831, nebo dle rovnice:

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad \text{popř.} \quad b_u = \frac{h_{ue}}{h_{iu} - h_{ue}} \quad (46)$$

- kde  $\theta_u$  je teplota nevytápěného prostoru;  
 $h_{iu}$  souč. tepelné ztráty mezi vytápěným a nevytápěným prostorem, ve  $W/K$ ;  
 $h_{ue}$  součinitele tepelné z nevytápěného prostoru do vnějšího prostředí, ve  $W/K$ .

**Součinitel tepelné ztráty do přilehlé zeminy,  $H_{T,ig}$**

$$H_{T,ig} = f_{g1} f_{g2} (\sum A_k U_{equiv,k}) G_w \quad (47)$$

- kde  $f_{g1}$  je korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty,  $f_{g1} = 1,45$   
 $f_{g2}$  teplotní redukční činitel dle výpočtu:

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (48)$$

- $A_k$  plocha stavebních částí, které se dotýkají zeminy, v  $m^2$ ;  
 $G_w$  korekční činitel zohledňující vliv spodní vody,  $G_w = 1,00$  nebo  $1,15$ ;  
 $U_{equiv,k}$  ekvivalentní součinitele prostupu tepla, ve  $W/(m^2K)$ .

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla  $U_{equiv,k}$  se stanoví z tabulkových hodnot uvedených v normě ČSN EN 12831. Určení závisí na charakteristickém parametru  $B'$ , součiniteli prostupu tepla podlahy a typologii podlahy, která je dána jako:

- podlahová deska na zemině,  $z = 0$  m;
- podlahová deska pod úrovní zeminy pro  $z = 1,5$  a  $3$  m;
- části stěny vytápěného podzemního podlaží podle hloubky pod úrovní zeminy.

Charakteristický parametr  $B'$ , v m, se stanoví dle rovnice:

$$B' = \frac{A_g}{0,5 \cdot P} \quad (49)$$

kde  $A_g$  je plocha podlahové konstrukce, v  $\text{m}^2$ ;

$P$  obvod podlahy oddělující vytápěný prostor od vnějšího prostředí, v m.

**Součinitel tepelné ztráty mezi prostory s různou vnitřní teplotou,  $H_{T,ij}$**

$$H_{T,ij} = \sum f_{ij} A_k U_k \quad (50)$$

kde  $f_{ij}$  je redukční teplotní činitel. Koriguje teplotní rozdíly místností podle vztahu:

$$f_{ij} = \frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{sousední prostor}}}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e} \quad (51)$$

### 5.1.2 Návrhová tepelná ztráta větráním

Tepelná ztráta větráním je závislá na návrhové vnitřní a vnější teplotě, výměně vzduchu ve vytápěném prostoru, infiltraci pláštěm budovy. Výměna vzduchu je poté stanovena podle toho, zda se jedná o přirozené nebo nucené větrání, přičemž musí být splněno přivedení minimálního množství vzduchu podle hygienických podmínek.

Návrhová tepelná ztráta větráním  $\Phi_{V,i}$ , ve W, se vypočítá rovnicí:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} (\theta_{\text{int},i} - \theta_e) \quad (52)$$

kde  $H_{V,i}$  je součinitel tepelné ztráty větráním, ve W/K, který se stanoví:

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \cdot \rho \cdot c_p \quad (53)$$

kde  $\dot{V}_i$  je výměna vzduchu ve vytápěném prostoru, v  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$\rho$  hustota vzduchu při  $\theta_{\text{int},i}$ , v  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$c_p$  měrná tepelná kapacita vzduchu při  $\theta_{\text{int},i}$ , v  $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ .

Při konstantní hustotě a měrné tepelné kapacitě lze výpočet zjednodušit: [24]

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_i \quad (54)$$

kde  $\dot{V}_i$  je výměna vzduchu ve vytápěném prostoru, v m<sup>3</sup>/h.

Jak již bylo zmíněno, výměna vzduchu  $\dot{V}_i$  závisí na způsobu řešení výměny vzduchu. Řeší se rozdílně výpočet pro přirozené a nucené větrání s využitím větrací soustavy.

### **Přirozené větrání**

Při přirozeném větrání se předpokládá, že přiváděný vzduch má tepelné vlastnosti jako venkovní vzduchu, tudíž je ztráta úměrná rozdílu vnitřní a vnější teploty. Hodnota výměny vzduchu  $\dot{V}_i$ , v m<sup>3</sup>/h, se stanoví jako nejvyšší hodnota z výměny vzduchu infiltrací  $\dot{V}_{inf,i}$  a minimální výměnou vzduchu  $\dot{V}_{min,i}$  podle hygienických požadavků:

$$\dot{V}_i = (\dot{V}_{inf,i}, \dot{V}_{min,i}) \quad (55)$$

*Hygienické množství vzduchu,  $\dot{V}_{min,i}$*

Minimální množství vzduchu  $\dot{V}_{min,i}$ , v m<sup>3</sup>/h, je dáno z hygienických důvodů podle:

$$\dot{V}_{min,i} = n_{min} V_i \quad (56)$$

kde  $V_i$  je objem vytápěné místnosti stanovený z vnitřních rozměrů, v m<sup>3</sup>;

$n_{min}$  minimální intenzita výměny venkovního vzduchu, v h<sup>-1</sup>.

*Infiltrace obvodovým pláštěm budovy,  $\dot{V}_{inf,i}$*

Množství vzduchu infiltrací pláštěm budovy  $\dot{V}_{inf,i}$ , v m<sup>3</sup>/h, uvažuje působení větru a vztla-ku na plášť budov a lze jej stanovit podle vztahu:

$$\dot{V}_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_1 \cdot \varepsilon_1 \quad (57)$$

kde  $n_{50}$  je intenzita výměny vzduchu, v h<sup>-1</sup>, při rozdílu tlaků 50 Pa mezi vnitřním prostorem a vnějším prostředím;

$V_i$  objem vytápěné místnosti stanovený z vnitřních rozměrů, v m<sup>3</sup>;

$e_1$  stínící činitel;

$\varepsilon_1$  výškový korekční činitel; do výšky 10 m včetně je hodnota  $\varepsilon_1 = 1,0$ .

### **Nucené větrání**

Při nuceném větrání nemusí platit, že přiváděný vzduch má stejné vlastnosti jako vzduch venkovní, např. při využití zařízení pro zpětné získávání tepla, predehřevu vzduchu apod. Pro tyto případy se využívá teplotní redukční činitel zohledňující rozdíl teplot. Množství přiváděného vzduchu  $\dot{V}_i$  pro výpočet součinitele ztráty tepla větráním se stanoví: [24]

$$\dot{V}_i = \dot{V}_{\text{inf},i} + \dot{V}_{\text{su},i} \cdot f_{v,i} + \dot{V}_{\text{mech,int},i} \quad (58)$$

kde  $\dot{V}_{\text{inf},i}$  je množství vzduchu infiltrací, v m<sup>3</sup>/h;

$\dot{V}_{\text{su},i}$  množství přiváděného vzduchu do vytápěné místnosti, v m<sup>3</sup>/h;

$\dot{V}_{\text{mech,int},i}$  rozdíl množství nuceně odváděného a přiváděného vzduchu, v m<sup>3</sup>/h;

$f_{v,i}$  teplotní redukční činitel stanovený podle:

$$f_{v,i} = \frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{su},i}}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e} \quad (59)$$

kde  $\theta_{\text{su},i}$  je teplota přiváděného vzduchu do vytápěného prostoru, ve °C.

*Rozdíl množství odváděného a přiváděného vzduchu*

Hodnota  $\dot{V}_{\text{mech,int}}$ , v m<sup>3</sup>/h, pro celou budovu se stanoví podle:

$$\dot{V}_{\text{mech,int}} = \max(\dot{V}_{\text{ex}} - \dot{V}_{\text{su}}, 0) \quad (60)$$

kde  $\dot{V}_{\text{ex}}$  je množství odváděného vzduchu soustavou pro celou budovu, v m<sup>3</sup>/h;

$\dot{V}_{\text{su}}$  množství přiváděného vzduchu soustavou pro celou budovu, v m<sup>3</sup>/h;

Hodnota rozdílu pro vytápěnou místnost  $\dot{V}_{\text{mech,int},i}$ , v m<sup>3</sup>/h, se stanoví podle:

$$\dot{V}_{\text{mech,int},i} = \dot{V}_{\text{mech,int}} \frac{V_i}{\sum V_i} \quad (61)$$

kde  $V_i$  je objem prostoru vytápěné místnosti, v m<sup>3</sup>;

Množství přiváděného vzduchu větrací soustavou pro celou budovu  $\dot{V}_{\text{su}}$  nebo pro každou vytápěnou místnost  $\dot{V}_{\text{su},i}$  stanoví projektant vzduchotechniky. [24]

### 5.1.3 Zátopový tepelný výkon

Tepelný zátopový výkon  $\Phi_{\text{RH},i}$ , ve W, se stanoví pro prostory s přerušovaným vytápěním, kde zajistí dosažení požadované výpočtové vnitřní teploty po útlumu vytápění. Hodnota závisí na době zátoku, teplotním poklesu během útlumu, akumulačních vlastnostech stavebních částí a také na vlastnostech regulačního a řídicího systému. V některých případech není nutné zátopový výkon řešit, např. je-li útlum vyrazen během chladnějších dnů. [24]

Pro obytné budovy s dobou útlumu do 8 hodin a nebytové prostory s dobou útlumu do 48 hodin o víkendech, popř. do 8 hodin během pracovních dní a vnitřní výpočtovou teplotou v rozmezí od 20 do 22 °C se zátopový tepelný výkon vytápěného prostoru stanoví: [24]

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \quad (62)$$

kde  $f_{RH}$  je korekční součinitel, ve  $W/m^2$ . Jeho hodnoty jsou uvedeny v příloze normy ČSN EN 12831. Hodnota závisí na době zátopy a předpokládaném poklesu vnitřní teploty v útlumové době;

$A_i$  podlahová plocha vytápěného prostoru, v  $m^2$ .

## 5.2 Návrhový tepelný výkon

Výpočet tepelných ztrát slouží k určení návrhového tepelného výkonu  $\Phi_{HL}$ , ve W, ten se stanovuje pro vytápěný prostor, funkční část budovy nebo budovu jako celek. Na jeho základě se poté dimenzují otopná tělesa, zdroje tepla, výměníky tepla apod. [24]

Výpočet pro vytápěný prostor  $\Phi_{HL,i}$  je následující:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} \quad (63)$$

Výpočet pro funkční část budovy nebo budovu  $\Phi_{HL}$ :

$$\Phi_{HL} = \sum \Phi_{T,i} + \sum \Phi_{V,i} + \sum \Phi_{RH,i} \quad (64)$$

kde  $\Phi_{T,i}$  je tepelná ztráta prostupem tepla, ve W;

$\Phi_{V,i}$  tepelná ztráta větráním, ve W;

$\Phi_{RH,i}$  zátopový tepelný výkon, ve W.

## 5.3 Zjednodušená metoda

Mimo výpočtové postupy tepelných ztrát, které byly popsány, existuje také zjednodušená metoda. Tato zjednodušená metoda uvažuje s vnějšími rozměry budovy, tj.:

- pro svislé rozměry je brána vzdálenost od povrchu podlahy;
- u vnitřních stěn se vodorovné rozměry měří od středu stěny;
- pro prostory s obvodovými zdmi se uvažuje s vnějším rozměrem budovy. [24]

### 5.3.1 Návrhové ztráty pro vytápěný prostor

**Celková návrhová tepelná ztráta,  $\Phi_i$ , ve W:**

$$\Phi_i = (\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}) f_{\Delta\theta,i} \quad (65)$$

kde  $f_{\Delta\theta,i}$  je teplotní korekční činitel řešící dodatečné tepelné ztráty místností vytápěných na vyšší teplotu, než mají sousední vytápěné místnosti.

**Návrhová tepelná ztráta prostupem,  $\Phi_{T,i}$ , ve W:**

$$\Phi_{T,i} = \sum f_k A_k U_k (\theta_{\text{int},i} - \theta_e) \quad (66)$$

kde  $f_k$  je teplotní korekční činitel pro stavební část (k) při uvažování rozdílu teploty uvažovaného případu a výpočtové venkovní teploty.

**Návrhová tepelná ztráta větráním,  $\Phi_{V,i}$ , ve W:**

$$\Phi_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_{\text{min},i} (\theta_{\text{int},i} - \theta_e) \quad (67)$$

kde  $\dot{V}_i$  je výměna vzduchu ve vytápěném prostoru, v  $\text{m}^3/\text{h}$ .

Tabulky (Tab. 25 a Tab. 26) obsahují korekční činitele  $f_{\Delta\theta,i}$  a  $f_k$  pro případy, které souvisejí s řešenou budovou v praktické části, další hodnoty jsou v příloze normy ČSN EN 12831.

Tab. 25: Teplotní korekční činitel  $f_{\Delta\theta,i}$

Vnitřní výpočtová teplota místnosti	$f_{\Delta\theta,i}$
normální	1,0
vyšší	1,6

Tab. 26: Teplotní korekční činitel  $f_k$  pro zjednodušenou metodu

Tepelná ztráta	$f_k$	Tepelné mosty
do vnějšího prostředí	1,00 1,40	Tepelně izolované (okna, dveře) Tepelně neizolované
nevytápěným prostorem	0,80 1,12	Tepelně izolované Tepelně neizolované
zemí	0,30 0,42	Tepelně izolované Tepelně neizolované
podkrovím	0,90 1,26	Tepelně izolované Tepelně neizolované

### 5.3.2 Návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor

Celkový návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru,  $\Phi_{HL,i}$ , ve W:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_i + \Phi_{RH,i} \quad (68)$$

Přerušované vytápění prostor, zátopový tepelný výkon  $\Phi_{RH,i}$ , ve W:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \quad (69)$$

Celkový návrhový tepelný výkon funkční části budovy nebo budovy  $\Phi_{HL}$ , ve W:

$$\Phi_{HL} = \sum \Phi_{T,i} + \sum \Phi_{V,i} + \sum \Phi_{RH,i} \quad (70)$$

## 6 TEPELNÉ ZISKY

Tepelné zisky (zátěž), které je nutno zahrnout při návrzích technických zařízení budov, především z hlediska vzduchotechniky a chlazení jsou tepelné zisky od vnitřních zdrojů a z vnějšího prostředí řeší norma ČSN 73 0548.

### 6.1 Tepelné zisky od vnitřních zdrojů tepla

Zisky jsou dány součtem vnitřních zdrojů tepla, k nimž je nutno připočítat i teplo, kterým se vzduch ohřeje při proudění mezi chladičem a klimatizovanou místností. Mezi vnitřní zdroje tepla se zahrnuje produkce tepla lidí, svítidel, strojů, místností a technologie. [25]

#### a) Produkce tepla od lidí, $\dot{Q}_l$

Do produkce tepla od lidí  $\dot{Q}_l$ , ve W, se zahrnuje pouze citelné teplo, přičemž je závislá na tělesné aktivitě, teplotě vzduchu a složení skupiny lidí. Určí se pomocí vztahů: [26]

$$\dot{Q}_l = i_l \cdot 6,2 \cdot (36 - \theta_i) \quad (71)$$

$$i_l = 0,85 \cdot i_z + 0,75 \cdot i_d + i_m \quad (72)$$

kde  $i_z, i_d, i_m$  je počet žen, dětí a mužů;  
 $\theta_i$  teplota vnitřního vzduchu, ve °C.

#### b) Produkce tepla od svítidel, $\dot{Q}_{sv}$

S teplem od svítidel se počítá tehdy, jsou-li v provozu i v době největších tepelných zisků. Tepelná zátěž od svítidel  $\dot{Q}_{sv}$ , ve W, se určí: [26]

$$\dot{Q}_{sv} = P \cdot c_1 \cdot c_2 \quad (73)$$

kde  $P$  je celkový příkon stanovený z intenzity osvětlení, včetně předřadníku, ve W;  
 $c_1$  součinitel současnosti používání;  
 $c_2$  zbytkový součinitel, udává poměr produkce tepla k příkonu, závisí na konstrukci svítidla a odsávání vzduchu.

#### c) Produkce tepla od technologie $\dot{Q}_m$ a elektronických zařízení $\dot{Q}_e$

Produkce tepla elektromotoru  $\dot{Q}_m$ , ve W, se stanoví z výkonu  $N$ , ve W, a účinnosti  $\eta_m$ :

$$\dot{Q}_m = c_1 \sum \left( c_2 c_3 \frac{N}{\eta_m} \right) \quad (74)$$

Produkce tepla elektronických zařízení  $\dot{Q}_e$ , ve W, o příkonu  $P$  nad 100 W se určí z výrazu:

$$\dot{Q}_e = c_1 c_3 \Sigma P \quad (75)$$

kde  $c_1$  je součinitel současnosti chodu motorů;  
 $c_2$  zbytkový součinitel při odsávání (bez odsávání  $c_2 = 1$ );  
 $c_3$  průměrné zatížení stroje (i předimenzování).

**d) Produkce tepla ventilátorů,  $\dot{Q}_v$**

$$\dot{Q}_v = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{\eta_v \cdot \eta_m} \quad (76)$$

kde  $\dot{V}$  je průtok vzduchu ventilátorem, v  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  
 $\Delta p$  celkový tlak ventilátoru, v Pa;  
 $\eta_v, \eta_m$  účinnosti ventilátoru a elektromotoru.

**e) Ohřátí vzduchu ve vzduchovodech**

$$\Delta \theta = \frac{U_t \cdot A \cdot \Delta \theta_m}{1200 \cdot w \cdot S} \quad (77)$$

kde  $U_t$  je součinitele prostupu tepla, ve  $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ;  
 $A$  teplosměnná plocha vzduchovodu, v  $\text{m}^2$ ;  
 $\Delta \theta_m$  střední rozdíl teplot mezi vzduchem v potrubí a okolním, v K;  
 $w$  rychlost proudění vzduchu ve vzduchovodu, v m/s;  
 $S$  průřez vzduchovodu, v  $\text{m}^2$ . [26]

**f) Ostatní zdroje tepla**

Mezi další zdroje je možné zahrnout povrchy a předměty v místnosti s rozdílnou teplotou od teploty vzduchu v místnosti a zisky ze sousedních teplejších místností, ve W.

## 6.2 Tepelné zisky z vnějšího prostředí

Výpočty tepelných zisků z vnějšího prostředí je důležité pro dimenzování klimatizačních zařízení a mají také zásadní vliv na tepelnou pohodu v objektu. Zahrnuje se zde:

- tepelná zátěž okny (konvekci a radiací);
- tepelné zisky stěnami;
- tepelné zisky infiltrací venkovního vzduchu.

Parametry pro výpočet tepelných zisků lze získat z normy ČSN 73 0548.

### 6.2.1 Tepelná zátěž okny

#### a) Prostup tepla konvekcí

Prostup tepla konvekcí oknem  $\dot{Q}_{ok}$ , ve W, se vypočítá podle vztahu:

$$\dot{Q}_{ok} = U_o A_o (\theta_e - \theta_{int}) \quad (78)$$

kde  $U_o$  je součinitel prostupu tepla oknem, ve W/(m<sup>2</sup>K);

$A_o$  plocha okenní výplně včetně rámu, v m<sup>2</sup>;

$\theta_e, \theta_{int}$  teplot na vnější a vnitřní straně okna, ve °C.

#### b) Prostup tepla okny sluneční radiací

Tepelné zisky sluneční radiací oknem  $\dot{Q}_{or}$ , ve W, lze vyjádřit pomocí vztahu:

$$\dot{Q}_{or} = [S_{os} \cdot I_o \cdot c_o + (S_o - S_{os}) \cdot I_{o,dif}] \cdot s \quad (79)$$

kde  $S_{os}$  je osluněný povrch okna, v m<sup>2</sup>;

$S_o$  plocha okna včetně rámu, v m<sup>2</sup>;

$I_o$  celková intenzita sluneční radiace, ve W/m<sup>2</sup>;

$I_{o,dif}$  intenzita difúzní sluneční radiace, ve W/m<sup>2</sup>;

$c_o$  korekce na čistotu atmosféry;

$s$  stínící součinitel. [26]

### 6.2.2 Tepelné zisky stěnami

Pro výpočet prostupu tepla se využívají teploty vzduchu po obou stranách stěny. Je-li stěna osluněna, využívá se rovnocenná sluneční teplota vzduchu  $\theta_r$ , ve °C, jejíž hodnoty jsou uvedeny v tabulkách normy ČSN 73 0548. Prostup tepla stěnami je dán jejich zařazením do kategorií – stěny lehké, středně těžké a těžké.

### 6.2.3 Tepelné zisky infiltrací venkovního vzduchu.

Zisky infiltrací venkovního vzduchu  $\dot{Q}_V$ , ve W, se uvažují pouze při použití podtlakového klimatizačního zařízení. Hodnotu tepelných zisků lze stanovit podle vztahu:

$$\dot{Q}_V = \dot{V}_V \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_e - \theta_{int}) \quad (80)$$

kde  $\dot{V}_V$  je přívod čerstvého vzduchu, v m<sup>3</sup>/s;

$\rho$  hustota vzduchu, v kg/m<sup>3</sup>;

$c$  měrná tepelná kapacita vzduchu, v J/(kg · K).

## 7 SYSTÉMY TECHNIKY PROSTŘEDÍ

Tvorbu vnitřního prostředí v objektech nám zajišťují systémy techniky prostředí. Mezi tyto systémy patří především zařízení pro větrání a vytápění. V následujícím textu budou popsány systémy techniky prostředí, převážně systémy vytápění a přípravy teplé vody. Spolu s teoretickou základnou budou uvedeny také výpočetní vztahy, které budou využity v praktické části práce. Systémy techniky prostředí a jejich části popsány dále:

- a) větrání a klimatizace,
- b) vytápění,
- c) příprava teplé vody,
- d) solární soustava.

### 7.1 Větrání a klimatizace

Vnitřní prostředí a jeho mikroklima je představeno především kvalitou vnitřního vzduchu. Jak je uvedeno v kapitole o vnitřním prostředí, je nutné dodržet úroveň výměny vzduchu podle hygienických požadavků vzhledem k obsahu škodlivin, čehož je dosaženo převážně větráním. Zároveň je potřeba udržovat teplotu vnitřního vzduchu v přijatelných mezích, především v letních měsících za pomoci klimatizačních zařízení. Oba uvedené požadavky přímo souvisí s konstrukčními a tepelně-technickými vlastnostmi objektu, tj. s tepelnou ztrátou či ziskem. Zjednodušeně lze říci, že míra větrání ovlivňuje tepelné ztráty a tepelné zisky ovlivňují návrh klimatizace.

#### 7.1.1 Větrání

Větrání lze charakterizovat jako výměnu vnitřního, znečištěného, vzduchu za venkovní, čerstvý, vzduch. Větráním se upravuje především čistota vnitřního ovzduší ve větraném prostoru, popř. také jeho tepelný stav. Rozlišujeme zde:

- a) nucené (mechanické) větrání:
  - celkové větrání;
  - místní přívod vzduchu;
  - místní odsávání.
- a) přirozené větrání:
  - celkové větrání;
  - místní odsávání.

Přirozené větrání je zajištěno tlakovým rozdílem, který vzniká na základě rozdílu hustoty vzduchu uvnitř a vně prostoru (dáno teplotou) a tlakovým účinkem větru.

Systémy nuceného větrání mají rozdíly při návrhu v zimním či letním období:

#### a) Zařízení pro větrání a vytápění v zimním období

Průtok vnějšího vzduchu se určí podle množství vznikajících škodlivin, dávky čerstvého vzduchu na osobu, doporučené intenzity větrání nebo jiných požadavků (technologické). Tento stanovený průtok bývá minimální průtok venkovního vzduchu pro dané zařízení.

Větrací zařízení může používat pouze venkovní vzduch, nebo také vzduch oběhový, který nesmí překračovat požadavky na obsah škodlivin.

Priváděný venkovní vzduch se ve větrací jednotce ohřívá, přičemž tepelný výkon jednotky  $P_{oh}$ , ve W, je různý podle způsobu vytápění prostoru:

- objekt s tepelnou soustavou pokrývajícím tepelné ztráty:

$$P_{oh} = \dot{V}_e \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_{emin}) \quad (81)$$

- objekt s tepelnou soustavou pokrývajícím pouze část tepelných ztrát:

$$P_{oh} = \dot{V}_e \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_{emin}) + P_{ztr,v} \quad (82)$$

- objekt bez tepelné soustavy (větrací jednotka pokrývá celkové ztráty):

$$P_{oh} = \dot{V}_e \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_{emin}) + P_{ztr} \quad (83)$$

kde  $\dot{V}_e$  je průtok přírodního vzduchu, v m<sup>3</sup>/s;

$c$  měrná tepelná kapacita, v J/(kg·K);

$\rho$  hustota, v kg/m<sup>3</sup>;

$\theta_i$  teplota vnitřního vzduchu, ve °C;

$\theta_{emin}$  minimální teplota venkovního vzduchu, ve °C;

$P_{ztr,v}$  zbytková tepelná ztráta pokrytá větrací jednotkou, ve W;

$P_{ztr}$  tepelná ztráta, ve W.

#### b) Zařízení pro větrání v letním období

Větrací zařízení je provozováno výhradně s venkovním vzduchem (oběhový se nepoužívá).

Průtok venkovního vzduchu se určuje podle požadavku na odvod tepelné zátěže a podle požadavku na čistotu vnitřního ovzduší.

### 7.1.2 Zpětné získávání tepla

Odváděný vzduch z větraného prostoru má v zimním období mnohem vyšší teplotu, než vzduch čerstvý, přiváděný z venkovního prostředí. Tento rozdíl může být až 35 °C. Pro snížení spotřeby tepelné energie na ohřev přiváděného vzduchu lze využít oběhový vzduch, nebo zařízení na zpětné získávání tepla.

Oběhový vzduch přiváděný zpět do větraného prostoru musí být dostatečně vyčištěn od škodlivin. Pro stanovení úrovně množství škodlivin slouží parametry PEL a NPK.

**PEL – přípustný expoziční limit** – vážený průměr koncentrací plynů, par nebo aerosolů v ovzduší, kterým mohou být zaměstnanci vystaveni, aniž by došlo k poškození zdraví.

**NPK – nejvyšší přípustná koncentrace** – koncentrace, které nesmí být zaměstnanec v žádném časovém úseku pracovní směny vystaven.

Není-li možné podle hygienických požadavků oběhový vzduch vrátit zpět do větraného prostoru, předehřívá se venkovní vzduch ve výměnících pro zpětné získávání tepla. Tyto výměníky umožňují přenos citelného tepla, popř. i přenos vlhkosti z odváděného vzduchu k ohřevu venkovního vzduchu pro větrání. Výměníky jsou použitelné v zimním období pro ohřev i pro ochlazování venkovního vzduchu v letním období v klimatizačních zařízeních.

Zařízení pro zpětné získávání tepla se rozdělují do dvou kategorií:

- a) rekuperační zařízení:
  - přímá výměna tepla, např. pomocí deskových výměníků;
  - přenos citelného tepla (nikoliv vlhkosti);
- b) regenerační zařízení
  - výměna tepla přes akumulaci hmoty, např. rotační regenerační výměník;
  - přenos citelného tepla i vlhkosti.

### 7.1.3 Klimatizace

Klimatizace představuje strojní úpravu vzduchu zajišťující požadované parametry prostředí (teplotu, vlhkost, proudění, čistotu vzduchu apod.). Klimatizace pro komfortní účely (pro pobyt osob) zajišťuje vždy i větrání venkovním vzduchem. Podle uspořádání a rozdělení zón se klimatizační systémy dají rozdělit:

- jednozónové systémy;
- vícezónové systémy.

**Jednozónové systémy** – úprava vzduchu v jednom prostoru (více s podobnou tepelnou zátěží a provozem). Systém obsahuje jednu klimatizační jednotku.

**Vícezónové systémy** – klimatizace budov (více místností). Systém je vybaven centrálním zařízením pro základní úpravu venkovního vzduchu, zdrojem tepla a chladu a vnitřními klimatizačními jednotkami v místnostech. Vícezónové systémy tedy umožňují úpravu vzduchu v jednotlivých místnostech podle aktuální tepelné zátěže.

Klimatizační systémy lze rozdělit také podle způsobu rozvodu tepelné energie:

- vzduchové systémy;
- vodní systémy;
- kombinované systémy vzduch/voda;
- chladivové systémy.

Vzduchové systémy tepelnou energii přivádí do klimatizovaných prostorů pouze rozvodem vzduchu, vodní systémy rozvodem topné, resp. chladicí vody, kombinované systémy pak zčásti vzduchem, zčásti vodou a chladivové systémy rozvodem chladiva.

## 7.2 Vytápění

Každý objekt je nutno v zimních měsících vytápět, proto je vhodné se zaměřit na správnou volbu a návrh otopné soustavy a komplexního systému pro vytápění. Správný návrh vede ke značným investičním a hlavně provozním úsporám. Hlavní části vytápění lze rozdělit na zdroje tepla (kotle a kotelny) a otopné soustavy (tělesa, potrubí, armatury).

Kotelny a kotle lze rozdělit do hlavních kategorií, jejichž kritérii je:

- pracovní médium;
- druh spalovaného paliva;
- technické řešení kotle.

Při podrobnějším rozdělení lze stanovit kategorie:

- a) podle pracovního média:
  - teplovodní kotle, do 115 °C;
  - horkovodní kotle, nad 115 °C;
  - parní kotle – nízkotlaké (do 70 kPa) a středotlaké (od 70 kPa do 1,6 MPa);
- b) podle paliva:
  - tuhá, kapalná paliva a plynná paliva;

- c) podle konstrukce kotle:
  - konvenční, nízkoteplotní a kondenzační;
- d) podle materiálového provedení:
  - litinové, ocelové a ostatní - slitiny hliníku, měď;
- e) podle způsobu odkouření:
  - přirozené do komína a nucené - tzv. TURBO;
- f) podle možnosti instalace:
  - stacionární a nástěnné;
- g) podle velikosti:
  - malé (do 50 kW), střední (do 350 kW) a velké (nad 350 kW);

Otopné soustavy mají také své rozdělení, zde se určuje kategorie podle:

- a) teplonosné látky:
  - parní, vodní a teplovzdušné soustavy.
- b) tlaku teplonosné látky:
  - podtlakové (do 100 kPa),
  - nízkotlaké (do 150 kPa);
  - středotlaké (od 150 do 900 kPa);
  - vysokotlaké (od 900 kPa);
- c) teploty teplonosné látky:
  - nízkoteplotní (do 65 °C), teplovodní (do 110 °C) a horkovodní (od 110 °C);
- d) sdílení tepla:
  - převážně konvekční a převážně sálavé
- e) počtu trubek:
  - jednorubkové, dvourubkové (protiproudé a souproudé) a vícetrubkové;
- f) umístění rozvodu teplonosné látky:
  - s horním nebo spodním rozvodem
- g) oběhu teplonosné látky:
  - s přirozeným (samotízným) a nuceným oběhem;
- h) rozvodu k otopným tělesům:
  - vertikální a horizontální;
- i) spojení soustavy s atmosférou:
  - teplovodní otevřené (do 95 °C) a uzavřené, tlakové, (do 110 °C).

### 7.2.1 Teplovodní podlahové soustavy

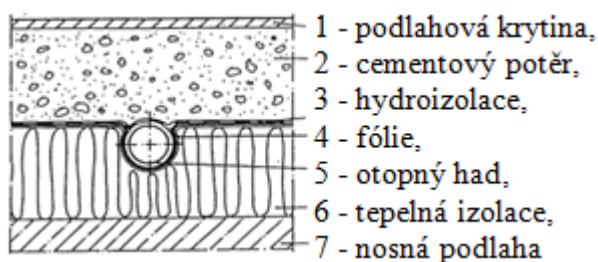
Problematiku podlahového vytápění řeší norma ČSN EN 1264: výpočet tepelných výkonů, projektování a montáž. Sdílení tepla u podlahového vytápění má podíl sálavé složky jen o málo větší než podíl složky konvekční, tedy vhodně využívá výhod obou způsobů sdílení tepla. Otopná plocha tvoří téměř celou plochu podlahy, čímž napomáhá vytvářet teplotně homogenní prostředí ve vertikálním i horizontálním směru. Podlahové vytápění lze dělit:

- a) teplonosná látka – teplovodní, elektrické a teplovzdušné;
- b) montáž – mokrý a suchý proces;
- c) provedení – meandr nebo plošná spirála;
- d) materiál potrubí – kovové, plastové a vícevrstvé;
- e) uložení otopného hadu – zabudované nebo volně ukládané. [16]

#### 7.2.1.1 Skladba podlahového vytápění

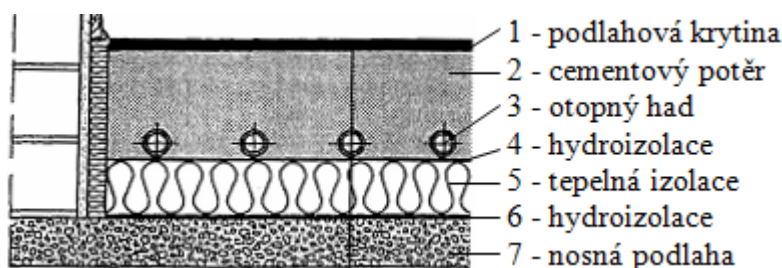
**Suchý proces** (Obr. 3) – potrubí je uloženo do izolační vrstvy pod betonovou deskou. Od cementového potěru jsou trubky odděleny speciální vrstvou, hydroizolační fólií. Kovová lamela pod fólií zvyšuje pevnost podlahy a umožňuje rovnoměrný rozvod tepla. [27]

Pracuje s teplotami otopné vody 40 až 70 °C a využívá se tam, kde postačí nižší měrné tepelné výkony do 50 W/m<sup>2</sup> nebo se požaduje nízká konstrukční výška podlahy. [27]



Obr. 3: Podlahové vytápění – suchý proces [27]

**Mokrý proces** (Obr. 4) – otopný had je zalit přímo v betonové mazanině nad izolací. Předpokládaná teplota otopné vody je 35 až 55 °C s měrným výkonem nad 50 W/m<sup>2</sup>.

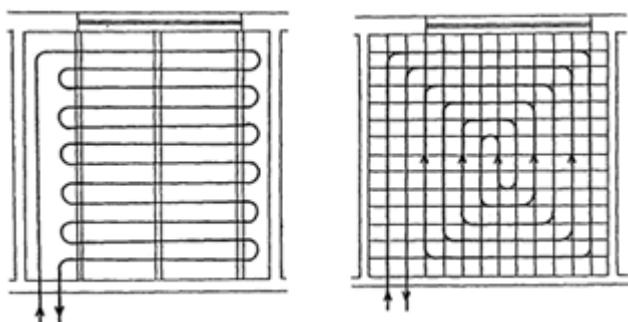


Obr. 4: Podlahové vytápění – mokrý proces [27]

Trubky se ukládají s roztečí 50 až 375 mm do meandru či plošné spirály (Obr. 5), přičemž rozteč může být proměnná, např. v zónách pod okny lze zvýšit hustotu trubek. [15]

Meandrový způsob vedení je charakteristický nerovnoměrnou teplotou podlahy, která ve směru proudění klesá, což umožňuje rovnoměrnější rozložení teplot ve vytápěné místnosti. Oblouky se tvarují pod úhlem 180°, což vyžaduje použití potrubí menšího průměru.

U kladení do plošné spirály je povrchová teplota podlahy po celé její ploše rovnoměrná. Nevýhodou je pokles vnitřní teploty vzduchu od vnitřní k obvodové konstrukci. Zde se využívají tenčí trubky, neboť umožňují menší poloměry tvarování pod úhlem 90°. [27]



Obr. 5: Uložení do meandru a plošné spirály [27]

Podlahové vytápění sdílí teplo také směrem dolů do podlahy, jedná se o ztrátové teplo, proto je vhodné, aby tato konstrukce splňovala doporučené hodnoty tepelného odporu a ztrátové teplo se tak minimalizovalo. Doporučené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 27.

Tab. 27: Minimální tepelný odpor konstrukcí pod podlahovým vytápěním [28]

Pod podlahou	vytápěná místnost	nevytápěná místnost <sup>*)</sup>	Venkovní prostor s $\theta_e$ [°C]		
			$\theta_e \geq 0$	$\theta_e \geq -5$	$\theta_e \geq -15$
$R_{\min}$ [m <sup>2</sup> K/W]	0,75	1,25	1,25	1,50	2,00
*) nebo přerušovaně vytápěná místnost nebo místnost ležící přímo na zemině; s hladinou spodní vody $\leq 5$ m by hodnoty měly vzrůstat.					

### 7.2.1.2 Výkon podlahové soustavy

Měrný výkon (hustota tepelného toku)  $q$ , ve W/m<sup>2</sup>, podlahového vytápění dodávaný do místnosti, lze stanovit pomocí rovnice:

$$q = 8,92 \cdot (\theta_{F,m} - \theta_i)^{1,1} \quad (84)$$

kde  $\theta_{F,m}$  je střední teplota povrchu podlahy, ve °C;

$\theta_i$  jmenovitá vnitřní teplota místnosti, ve °C.

Střední teplota smí být maximálně o 9 K vyšší než teplota místnosti. V okrajových zónách max. 15 K. Ze vztahu pro měrný výkon a maximálních dovolených teplot lze stanovit také maximální dosažitelné výkony  $q_{G,max}$ , ve  $W/m^2$ , viz tabulka (Tab. 28). [15]

Tab. 28: Maximální povrchová teplota a měrný výkon

$\theta_{F,max}$ [°C]	$\theta_i$ [°C]	$q_{G,max}$ [W/m <sup>2</sup> ]	Typ plochy
29	20	100	využívaná, obytná
33	24	100	koupelny apod.
35	20	175	okrajové plochy

U podlahového vytápění existují také doporučené hodnoty povrchových teplot, které jsou závislé na použitém podlahovém materiálu, viz tabulka (Tab. 29).

Tab. 29: Doporučená povrchová teplota podlahového vytápění

Podlahový materiál	$\theta_p$ [°C]
Textilie (koberec)	21,0 až 28,0
Korek	23,0 až 28,0
Dřevo (tvrdé)	22,5 až 28,0
Dřevo (měkké)	24,5 až 28,0
PVC na betonu	25,5 až 28,0
Linoleum na dřevě	24,0 až 28,0
Plynobeton, mazanina	26,0 až 28,5

Příkon podlahové soustavy  $Q_H$ , ve W, zahrnující i výkon směrem dolů je dán vztahem:

$$Q_H = A_F \cdot q \cdot \left( 1 + \frac{R_o}{R_u} + \frac{\theta_i - \theta_u}{q \cdot R_u} \right) \quad (85)$$

Požadovaná hodnota hustoty tepelného toku podlahové soustavy  $q_{des}$ , ve  $W/m^2$ , se stanoví:

$$q_{des} = \frac{\Phi_{HL}}{A_F} \quad (86)$$

- kde  $A_F$  je podlahová otopná plocha, v  $m^2$ ;  
 $q$  hustota tepelného toku (měrný výkon) podlahové soustavy, ve  $W/m^2$ ;  
 $R_o$  tepelný odpor podlahové konstrukce od trubek směrem nahoru, v  $m^2K/W$ ;  
 $R_u$  tepelný odpor podlahové konstrukce od trubek směrem dolů, v  $m^2K/W$ ;  
 $\theta_i$  vnitřní výpočtová teplota vytápěné místnosti, ve °C;  
 $\theta_u$  teplota prostředí pod podlahou, ve °C;  
 $\Phi_{HL}$  tepelná ztráta místnosti, ve W.

### 7.2.1.3 Střední teplota otopné vody, průměr a rozteč trubek

Při stejné teplotě na obou stranách stropu platí pro rozdíl střední teploty povrchu podlahy a jmenovité vnitřní teploty v místnosti, v K, vztah:

$$\theta_{F,m} - \theta_i = \frac{\theta_m - \theta_i}{R_o \alpha_p} \cdot \frac{\tanh\left(m \cdot \frac{T}{2}\right)}{m \cdot \frac{T}{2}} \quad (87)$$

- kde  $\theta_{F,m}$  je střední teplota povrchu podlahy, ve °C;  
 $\theta_i$  jmenovitá vnitřní teplota místnosti, ve °C;  
 $\theta_m$  průměrná hodnota přívodní a zpětné teploty teplotnosné látky, ve °C;  
 $\alpha_p$  součinitel přestupu tepla na povrchu podlahy, ve W/(m²K);  
 $T$  rozteč trubek, v m;  
 $m$  charakteristické číslo podlahy, v m<sup>-1</sup>, ze vztahu:

$$m = \sqrt{\frac{2 \left( \frac{1}{R_o} + \frac{1}{R_u} \right)}{\pi^2 \cdot \lambda_d \cdot d}} \quad (88)$$

- kde  $\lambda_d$  je součinitel tepelné vodivosti, ve kterém jsou trubky zalaty, ve W/(mK);  
 $d$  vnější průměr trubek, v m. [15]

Z uvedených rovnic lze stanovit při známé požadované teplotě povrchu podlahy a zvolené rozteči trubek potřebnou střední teplotu teplotnosné látky, popř. při zvolené střední teplotě teplotnosné látky potřebnou rozteč trubek. Teplotní spád mezi přívodní a vratnou vodou se z hlediska rovnoměrnosti povrchové teploty doporučuje do 5 K, výjimečně až 10 K. [15]

### 7.2.1.4 Hydraulické výpočty

Po výpočtu potřebného příkonu a stanovení teplotního spádu lze řešit hydraulický výpočet, který řeší tlakové ztráty a nastavení seřizovacích armatur při daném hmotnostním průtoku a dimenzi potrubí. Hmotnostní průtok  $\dot{m}$ , v kg/s, lze stanovit ze vztahu:

$$\dot{m} = \frac{Q_H}{\Delta\theta \cdot c} \quad (89)$$

- kde  $Q_H$  je příkon podlahové soustavy, ve W;  
 $\Delta\theta$  teplotní spád soustavy, v K;  
 $c$  měrná tepelná kapacita teplotnosné látky, pro vodu  $c = 4180 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ .

Rychlost proudění teplotnosné látky  $w$ , v m/s, lze vypočítat pomocí hmotnostního průtoku, hustoty teplotnosné látky a průřezu trubek. Výpočet je podle vzorce:

$$w = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot S_t} \quad (90)$$

kde  $\dot{m}$  je hmotnostní průtok, v kg/s;  
 $\rho$  hustota teplotnosné látky, v kg/m<sup>3</sup>;  
 $S_t$  průřez potrubí, v m<sup>2</sup>. [15]

Tlakové ztráty vychází z délky potrubí a hmotnostního průtoku. V případě, kdy k tvarování oblouků nejsou využity tvarovky, lze zanedbat tlakové ztráty místními odpory a počítat pouze s tlakovou ztrátou třením v potrubí. Přibližnou délku potrubí  $l$ , v m, lze vypočítat:

$$l = \frac{A}{T} + l_p \quad (91)$$

kde  $A$  je plocha podlahové soustavy, v m<sup>2</sup>;  
 $T$  rozteč trubek, v m.  
 $l_p$  délka přípojek, v m. [15]

### 7.2.2 Elektrické podlahové vytápění

Elektrické vytápění je velmi podobné vytápění teplovodnímu. V tomto případě ovšem není v podlahové otopné ploše otopný had, ale je zde uložen topný kabel nebo rohož. Podobná je také skladba podlahy, požadavky na tepelný výkon a povrchovou teplotu podlahy.

Elektrické podlahové vytápění se dá rozdělit do několika kategorií podle:

- a) akumulční schopnosti:
  - přímotopné - topná rohož nebo folie bezprostředně pod nášlapnou vrstvou;
  - smíšené – topný kabel nebo rohož uložena ve vrstvě betonu silné cca 4-5 cm;
  - akumulční - topný kabel nebo rohož uložena ve vrstvě betonu silné 10-12 cm;
- b) umístění otopné plochy:
  - podlahové,
  - stěnové a stropní.

Elektrické podlahové vytápění lze využít u betonových i dřevěných podlah, přičemž výkon otopné plochy se pokryje potřebnou délkou topného kabelu, který má svůj výkon udávaný ve W/m. Lze také využít i topné rohože, jejichž základem je kovové pletivo či tkanina se čtvercovou strukturou. Na tomto podkladu jsou předem naformovány topné kabely. [29]

**Skladba podlahy** je podobná skladbě teplovodní soustavy. Konstrukce obsahuje izolaci proti vlhkosti, tepelnou izolaci, topné kabely, instalační pás, betonovou vrstvu a podlahovou krytinu. Lze využít i systém, u kterého je topná rohož či folie přímo pod podlahovou krytinou nalepena na stávající podlahu. Z této možnosti plyne také hlavní výhoda, tj. minimální nároky na prostor, což se hodí především u rekonstrukcí.

**Příkon** u topné podlahy je určen tepelnou ztrátou a plochou, ve které bude instalováno vytápění. Řídíme se doporučením:

- podlahy s dlažbou - místnosti s trvalým pobytem osob - 55 až 100 W/m<sup>2</sup>;
- místnosti s krátkodobým pobytem osob (koupelny, chodby, WC) - 50 až 160 W/m<sup>2</sup>;
- podlahy laminátové - 80 W/m<sup>2</sup>;
- podlahy dřevěné - 60 W/m<sup>2</sup>. [30]

Je-li topná podlaha využita v kombinaci s jiným zdrojem tepla, je doporučeno instalovat termostat s podlahovou sondou. Tím se zamezí chladnutí podlahy při dosažení požadované teploty vzduchu v místnosti a provozovat systém nezávisle na ústředním topení domu.

### 7.3 Příprava teplé vody

Navrhování a projektování zařízení pro ohřev vody je stanoveno normou ČSN 06 0320. Tato norma platí pro projektování zařízení pro ohřev vody určené pro mytí osob, koupání, praní, úklid a mytí nádobí. Přípravu teplé vody lze rozdělit z několika hledisek podle: [31]

a) způsobu předávání tepla:

- přímé – směšování ohříváné a ohřívací vody;
- nepřímé – ohřev prostupem tepla dělicí stěnou;

b) místa ohřevu:

- místní – např. pro jeden byt;
- ústřední – domovní nebo okrskové kotelny;

c) konstrukce zařízení:

- ohřev zásobníkový (akumulační), průtokový a smíšený;

d) zdrojů tepla:

- jednoduché – jeden zdroj tepla;
- kombinované – využití různých zdrojů (elektrika, plyn, TČ, solární ohřev);

e) tlaku:

- beztlakové a tlakové. [31]

### 7.3.1 Požadavky na přípravu teplé vody

Teplota teplé vody (TV) v místě odběru by měla dosahovat hodnoty 50 °C až 55 °C, výjimečně 45 až 60 °C. K zamezení tvorby bakterií *Legionelly pneumophily* se doporučuje u zásobníkového ohřevu na přechodnou dobu periodicky zvýšit teplotu TV až na 70 °C.

V případě využití více zdrojů tepla je nutné soustavu navrhnout tak, aby bylo možné každý ohřívač samostatně provozovat, odstavit, vypustit a čistit. Zásobník TV je vhodné opatřit revizním otvorem pro provádění prohlídek a čištění bez demontáže otopné vložky.

Pro návrh zařízení pro přípravu teplé vody platí několik pravidel, mezi ty patří například:

- ohřívače s teplotou vyšší než 100 °C nebo elektřinou, plynem a solární energií musí mít pojistný ventil v pojistném místě na straně teplé vody;
- je potřeba zajistit vhodnou teplotu na výstupu ohřívače, např. pomocí cirkulace;
- provádí se měření teploty výstupní vody z ohřívače a cirkulační vody;
- pro snížení tepelných ztrát je nutno rozvody TV a cirkulace izolovat. [31]

### 7.3.2 Výpočty pro přípravu TV

K určení parametrů zařízení pro přípravu TV je stanovení její potřeby  $V_{2P}$ , v m<sup>3</sup>, která se stanovuje pro mytí osob  $V_o$ , v m<sup>3</sup>, nádobí  $V_j$ , v m<sup>3</sup>, a úklid  $V_u$ , v m<sup>3</sup>:

$$V_o = n_i \sum V_d = n_i \sum (n_d \cdot U_3 \cdot t_d \cdot p_d) \quad (92)$$

$$V_{2P} = V_o + V_j + V_u \quad (93)$$

kde  $n_i$  je počet uživatelů;

$U_3$  objemový průtok TV (viz tab. C1 v příloze ČSN 06 0320), v m<sup>3</sup>/h;

$V_d$  objem dávky (viz tab. C2 v příloze ČSN 06 0320), v m<sup>3</sup>;

$t_d$  doba dávky (viz tab. C2 v příloze ČSN 06 0320), v h;

$p_d$  součinitel prodloužení doby dávky (viz tab. C3 v ČSN 06 0320). [31]

Teplo odebrané z ohřívače TV během periody  $Q_{2P}$ , v kWh, se stanoví pomocí vztahu:

$$Q_{2P} = Q_{2t} + Q_{2z} = Q_{1P} \quad (94)$$

Teoretické odebrané teplo z ohřívače  $Q_{2t}$ , v kWh, se určí vztahem:

$$Q_{2t} = c \cdot V_{2P}(\theta_2 - \theta_1) \quad (95)$$

Teplo ztracené při ohřevu a distribuci  $Q_{2z}$ , v kWh, lze stanovit vztahem:

$$Q_{2z} = Q_{2t} \cdot z \quad (96)$$

kde  $Q_{1P}$  je teplo dodané ohříváčem do TV během periody, v kWh;

$V_{2P}$  celková potřeba TV v periodě, v m<sup>3</sup>;

$c$  měrná tepelná kapacita vody ( $c = 1,163 \text{ kWh/m}^3\text{K}$ );

$\theta_1$  teplota přírodní vody, (předpoklad  $\theta_1 = 10 \text{ °C}$ );

$\theta_2$  teplota teplé vody (předpoklad  $\theta_2 = 55 \text{ °C}$ ). [31]

Objem zásobníku se určí pomocí křivek dodávek  $Q_1$  a odběru tepla  $Q_2$ , kde ke stanovení velikosti zásoby se určí maximální rozdíl  $\Delta Q_{\max}$ , v kWh, mezi křivkou dodávky a odběru tepla. Z tohoto rozdílu lze vypočítat velikost zásobníku  $V_z$ , v m<sup>3</sup>, podle vztahu:

$$V_z = \frac{\Delta Q_{\max}}{c \cdot (\theta_2 - \theta_1)} \quad (97)$$

Tepelný výkon pro ohřev  $\Phi_{\text{ln}}$ , v kW, se stanoví pro ohřev se zásobníkem dle vztahu (98) a pro průtočný ohřev ze vztahu (99):

$$\Phi_{\text{ln}} = \left( \frac{Q_1}{t} \right)_{\max} \quad (98)$$

$$\Phi_{\text{ln}} = \sum (n_v \cdot q_v) \cdot s \quad (99)$$

kde  $Q_1$  je teplo dodané ohříváčem do TV v čase  $t$  od počátku periody, v kWh;

$t$  čas, v h;

$n_v$  počet výtokových zařízení;

$q_v$  tepelný výkon přítoku jednoho výtokového zařízení, v kW;

$s$  součinitel současnosti. [31]

Norma ČSN 06 0320 také uvádí předpokládané hodnoty parametrů potřeby TV pro jednu osobu během jednoho dne v bytovém objektu. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce (Tab. 30).

Tab. 30: Potřeba TV pro jednu osobu na den v bytovém objektu [31]

Parametr	Značka	Jednotka	umyvadlo	dřez	sprcha	vana
Počet dávek	$n_d$	-	3	0,8	1	0,3
Objem dávek	$V_d$	m <sup>3</sup>	0,03	0,002	0,025	0,025
Teplo v dávkách	$Q_d$	kWh	1,5	0,1	1,3	1,4
Součet objemu dávek	$V_{2P}$	m <sup>3</sup>	0,082			
Součet tepla v dávkách	$Q_{2t}$	kWh	4,3			

## 7.4 Solární soustava

Solární kolektor slouží k pohlcení slunečního záření a jeho přeměně na tepelnou energii, která je předávána teplotonosné látce. Hlavní typy podle teplotonosné látky jsou:

- 1) kolektory s kapalinou jako teplotonosnou látkou (voda, nemrzoucí směs) – naprostá většina aplikací v budovách;
- 2) vzduchové kolektory – v ČR využívány pouze okrajově pro předehřev čerstvého vzduchu pro větrání nebo oběhového vzduchu pro cirkulační vytápění. [32]

Kapalinové kolektory lze dále rozdělit podle různých hledisek, např. podle:

- a) účelu užití: příprava teplé vody, kombinace vytápění a přípravy teplé vody, ohřev bazénové vody, průmyslové aplikace a akumulace;
- b) zasklení: bez zasklení, jednoduché, vícevrstvé a struktura;
- c) tlaku výplně: atmosférický a subatmosférický (vakuový);
- d) konstrukce: ploché, trubkové a koncentrační;
- e) absorberu: plastový, kovový (selektivní a neselektivní) a akumulační. [32]

Výsledek návrhu solárních soustav je určení potřebné plochy solárních kolektorů, která se stanovuje pro referenční den období, kdy je požadováno pokrytí tepla solární soustavou. Pro stanovení výsledné potřebné plochy kolektorů je potřeba také zjistit hodnoty skutečné denní dávky ozáření plochy a měrný tepelný zisk.

### 7.4.1 Výpočty pro návrh solární soustavy

Skutečnou denní dávku ozáření plochy  $H_{T,den}$ , v kWh/(m<sup>2</sup>den), lze stanovit podle vztahu:

$$H_{T,den} = \tau_t \cdot H_{T,den,teor} + (1 - \tau_t) \cdot H_{T,den,dif} \quad (100)$$

kde  $H_{T,den,teor}$  je teoretická denní dávka ozáření plochy, v kWh/(m<sup>2</sup>den);  
 $H_{T,den,dif}$  denní dávka difúzního ozáření, v kWh/(m<sup>2</sup>den);  
 $\tau_t$  poměrná doba slunečního svitu. [15]

Měrný tepelný zisk z kolektorů  $q_k$ , v kWh/(m<sup>2</sup>den), lze získat pomocí vztahu:

$$q_k = \eta_k \cdot H_{T,den} \quad (101)$$

Průměrná denní účinnost je vypočtena pomocí rovnice:

$$\eta_k = \eta_o - a_1 \left( \frac{\theta_m - \theta_{es}}{G_{T,stř}} \right) - a_2 \frac{(\theta_m - \theta_{es})^2}{G_{T,stř}} \quad (102)$$

- kde  $\eta_o$  je optická účinnost;  
 $a_1$  lineární součinitel tepelné ztráty, ve  $W/(m^2K)$ ;  
 $a_2$  kvadratický součinitel tepelné ztráty, ve  $W/(m^2K^2)$ ;  
 $\theta_m$  střední teplota teplotnosné látky (popř. její průměrná hodnota), ve  $^{\circ}C$ ;  
 $\theta_e$  teplota vzduchu v okolí kolektoru, ve  $^{\circ}C$ ;  
 $\theta_{es}$  průměrná venkovní teplota v době slunečního svitu, ve  $^{\circ}C$ ;  
 $G$  sluneční ozáření přední strany kolektoru, ve  $W/m^2$ ;  
 $G_{T,stř}$  střední sluneční ozáření, ve  $W/m^2$ . [15]

Hodnoty optické účinnosti a lineárních a kvadratických součinitelů tepelných ztrát by měl poskytnout výrobce kolektoru. Případně zkušebna, která vypracuje protokol o zkouškách provedených v souladu s ČSN EN 12975.

Plochu solárních kolektorů  $A_k$  v  $m^2$ , je nakonec možné získat pomocí vztahu:

$$A_k = \frac{Q_{pc}}{q_k} = \frac{(1 + p) \cdot Q_p}{\eta_k \cdot H_{T,den}} \quad (103)$$

- kde  $Q_p$  je čistá denní potřeba tepla, v kWh/den;  
 $Q_{pc}$  celková denní potřeba tepla, v kWh/den;  
 $p$  přírážka na tepelné ztráty (pro přípravu TV 5 až 15 %). [15]

#### 7.4.2 Příprava TV pomocí solární soustavy

Solární ohřev vody vychází z podobných hodnot jako výpočet pro standardní přípravu TV pomocí jiných zdrojů tepla. Norma ČSN 06 0320, která popisuje výpočet zásobníků a zdrojů pro přípravu TV, stanovuje pro bytové objekty spotřebu 82 l/(os·den). Praktické zkušenosti ovšem hovoří o značně nižších hodnotách, především v letních měsících, kdy je solární soustava nejvíce využívána. Pro bytové objekty platí tabulka dále (Tab. 31), která je pro návrh solární soustavy vhodnější, jelikož nedochází k předimenzování a instalování přebytečné kolektorové plochy.

Tab. 31: Praktické hodnoty spotřeby TV [15]

Profil spotřeby teplé vody	Spotřeba teplé vody [l/(os·den)]
Nízký standard	10 až 20
Střední standard	20 až 40
Vysoký standard	40 až 80

Denní potřeba tepla na přípravu teplé vody  $Q_{pc}$ , v kWh/den, se stanoví rovnicí:

$$Q_{pc} = (1 + p) \cdot Q_{TV} = (1 + p) \cdot \frac{n \cdot V \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{3,6 \cdot 10^6} \quad (104)$$

kde  $V$  je průměrná denní potřeba teplé vody na jednotku, v m<sup>3</sup>/den;  
 $n$  počet jednotek;  
 $\rho$  hustota vody, v kg/m<sup>3</sup>;  
 $c$  měrná tepelná kapacita vody, v J/(kg·K);  
 $\theta_2$  požadovaná teplota teplé vody, ve °C;  
 $\theta_1$  teplota studené vody, ve °C. [15]

Solární soustavy pro celoroční přípravu TV v rodinných domech se navrhují na měsíce duben a září. Střední teplota teplotnosné látky v kolektoru se volí okolo  $\theta_m = 40$  °C, která většinou odpovídá průměrné teplotě v zásobníku TV během celého roku. Z výsledných hodnot plochy kolektoru určených pro oba měsíce se stanoví průměr. [15]

## 7.5 Zabezpečovací zařízení vodních tepelných soustav

Při navrhování a provozu otopných soustav je potřeba dbát na to, že každý zdroj tepla musí být vybaven neuzavíratelně připojeným pojistným zařízením a soustava musí být vybavena expanzním zařízením. Touto problematikou se zabývá norma ČSN 06 0830.

### 7.5.1 Pojistné zařízení

Pro další text je vhodné definování několika pojmů:

- pojistné místo - horní část zdroje tepla a část výstupního potrubí ze zdroje. Jeho maximální délka je stanovena na dvacetinásobek DN výstupního potrubí od hrdla.
- pojistný úsek - část soustavy, která je vymezena armaturami na vstupu a výstupu.
- manometrická rovina – vztažná rovina pro údaje o přetlaciích v soustavě, zpravidla se uvažuje ve výšce 1,5 m nad podlahou hlavního místa obsluhy. [29]

V pojistném místě musí být připojeno pojistné zařízení a dále také teploměr a tlakoměr, snímač teploty, případně snímač přetlaku a nedostatku vody. V pojistném místě nesmí být uzavírací armatura a zúžení potrubí. Mohou zde být pouze armatury, které vždy dovolují spojení zdroje tepla s pojistným zařízením či atmosférou, a které mají DN stejný jako je DN pojistného potrubí. Pojistné zařízení proti překročení nejvyššího dovoleného přetlaku a nejvyšší dovolené teploty musí být instalováno u kotlů, výměníků a ohříváčů TV. [15]

Základním předpokladem pro navrhování pojistných zařízení je fakt, že toto zařízení musí spolehlivě odvést ze zdroje tepla pojistný výkon  $Q_p$ , v kW, který je dán pro výměníky vztahem (105) a pro ostatní zdroje vztahem (106):

$$Q_p = 2 \cdot Q_n \quad (105)$$

$$Q_p = Q_n \quad (106)$$

kde  $Q_n$  je jmenovitý výkon zdroje tepla, v kW.

Pojistný průtok  $\dot{m}_p$ , v kg/h, je poté dán pro vodu vztahem (107) a pro páru vztahem (108):

$$\dot{m}_p = Q_p \quad (107)$$

$$\dot{m}_p = 10^3 \frac{Q_p}{r} \quad (108)$$

kde  $r$  je výparné teplo při otevíracím přetlaku pojistného ventilu, ve Wh/kg.

Výpočtem a stanovením umístění pojistných ventilů se zabývá norma ČSN 13 4309, která také udává způsob výpočtu průřezu sedla pojistného ventilu  $S_o$ , v mm<sup>2</sup>. Pro vodu platí:

$$S_o = \frac{2 \cdot Q_p}{\alpha_v \sqrt{p_{ot}}} \quad (109)$$

Pro páru (tj. už do pojistného ventilu vstupuje pára) platí vztah:

$$S_o = \frac{Q_p}{\alpha_v \cdot K} \quad (110)$$

kde  $\alpha_v$  je výtokový součinitel pojistného ventilu;

$K$  konstanta, závislá na stavu syté vodní páry při  $p_{ot}$ , v kW/mm<sup>2</sup>;

$p_{ot}$  otevírací přetlak pojistného ventilu, v kPa. [15]

Při návrhu je nutné dbát také na vnitřní průměr pojistného potrubí  $d_v$ , v mm, který lze, v případě, že potrubím je odváděna voda, vypočítat ze vztahu:

$$d_v = 10 + 0,6 \sqrt{Q_p} \quad (111)$$

V případech, kdy je nutné použít chlazení kotle, je minimální přítok vody  $\dot{m}_{chl}$ , v kg/h, a objem  $V_{chl}$ , v m<sup>3</sup>, stanoven podle vztahu:

$$\dot{m}_{chl} = 1,5 \cdot Q_n = V_{chl} \cdot 10^3 \quad (112)$$

### 7.5.2 Expanzní zařízení

Expanzní zařízení se rozděluje podle zdroje přetlaku, kterým může být:

- hydrostatický tlak (svislé potrubí s nádobou);
- expanzní čerpadlo s expanzní (přepouštěcí) armaturou;
- přetlak plynového polštáře působícího buď přímo na vodní hladinu soustavy nebo přes membránu či vak s konstantním či proměnným množstvím plynu.

Objem expanzního zařízení (expanzní nádoby, EN)  $V_e$ , v  $\text{m}^3$ , se stanovuje jako 1,3 násobek zvětšení objemu vody v soustavě při ohřátí z  $10^\circ\text{C}$  na střední návrhovou teplotu vody. Výpočet vychází ze vztahu:

$$V_e = 1,3 \cdot V_o \cdot n \cdot \frac{1}{\eta} \quad (113)$$

kde  $V_o$  je objem studené vody v celé otopné soustavě, v  $\text{m}^3$ ;  
 $n$  součinitel zvětšení objemu, viz tabulka (Tab. 32);  
 $\eta$  stupeň využití EN, podle vztahu: [33]

$$\eta = \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,A}}{p_{h,dov,A}} \quad (114)$$

kde  $p_{h,dov,A}$  je nejvyšší dovolený absolutní tlak, v kPa;  
 $p_{d,A}$  nejnižší provozní absolutní tlak, hydrostatický absolutní tlak, v kPa.

$$p_{d,A} = 1,1 \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3} + p_B \quad (115)$$

kde  $h$  je výška od manometrické roviny, v m.

Tab. 32: EN - Součinitel zvětšení objemu

$\Delta\theta = \theta_{\max} - 10 \text{ [K]}$	20	30	40	45	50	55
$n \text{ [-]}$	0,00401	0,00749	0,01169	0,01413	0,01672	0,01949

Po výpočtu minimálního potřebného objemu se vybere nádoba s nejbližší vyšší hodnotou. U tlakové membránové EN se poté při studené soustavě seřídí přetlak EN na hodnotu:

$$p_{e,t} = (1,1 \div 1,3) \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3} \quad (116)$$

Expanzní zařízení může být napojeno na libovolnou část soustavy a také může být využito jako zařízení pojistné, za předpokladu, že toto zařízení bude navrženo podle ustanovení pro pojistná zařízení.

## 7.6 Směšovací, seřizovací a regulační armatury

Směšovací zařízení slouží ke kvalitativní změně parametrů topné vody. Nejčastěji k úpravě teploty při zachování hmotnostního průtoku v požadované části otopné soustavy. Dnes se využívají především trojcestné směšovací ventily. Lze také využít zapojení směšovacího okruhu pomocí dvojcestného regulačního ventilu s pevným zkratem. [15]

Seřízení znamená nastavení projektovaných hodnot při technickém řešení hydraulických okruhů tak, aby byla soustava v rovnovážném stavu z hlediska přenosu tepla, aniž by došlo k poruše přenosu tepla ke kterémukoliv ze spotřebičů připojených k soustavě. Seřízení je potřeba provést na základě projektu před uvedením soustavy do provozu. [15]

Regulace představuje samočinné působení na parametry teplotnosné látky tak, aby byly omezeny či odstraněny tzv. poruchové vlivy, např. změny průtoku, a přitom zachovány žádané hodnoty ve všech místech, např. teplota vzduchu.

Každou soustavu tedy musíme nejdříve seřídít a poté ji můžeme regulovat. K těmto účelům slouží seřizovací a regulační armatury, kdy každá má svou specifickou funkci vycházející z popsaných vlastností činností seřízení a regulace.

Zásadními požadavky z hlediska hydraulického použití na armatury jsou jejich kritéria:

- jmenovitý tlak PN a přípustný rozdíl tlaků;
- $K_v$  hodnota ventilu;
- autorita ventilu  $P_v$ . [30]

### a) Průtokový součinitel

Velikost ventilu je dána hodnotou  $K_{vs}$ , v  $\text{m}^3/\text{h}$ , která udává vztah mezi nastavením ventilu a průtokem. Představuje tak jmenovitý průtok armaturou při maximálním otevření  $h_{100}$  armatury a tlakové ztrátě  $\Delta p_0 = 100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar}$ . Pro vodu platí zjednodušený vztah:

$$K_{vs} = \dot{V} \sqrt{\frac{\Delta p_0}{\Delta p_v}} \quad (117)$$

Ekvivalentní vyjádření pomocí hodnoty průtokového součinitele  $A_{vs}$ , v  $\text{m}^2$ :

$$A_{vs} = \dot{V} \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p_v}} \quad (118)$$

kde  $\dot{V}$  je objemový průtok armaturou, v  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

- $\rho$  hustota vody, v  $\text{kg/m}^3$ ;  
 $\Delta p_0$  tlaková ztráta 100 kPa;  
 $\Delta p_v$  tlaková ztráta ventilu, v kPa. [30]

### b) Průtoková charakteristika

Závislost průtokového součinitele na poloze regulačního nebo uzavíracího prvku armatury udává průtoková charakteristika. Běžně se vyrábějí ventily s charakteristikou lineární a rovnoprocentní. Lineární je vyznačována tím, že poměrná změna jedné veličiny (např. zdvihu), vyvolá úměrně stejnou poměrnou změnu veličiny druhé (např. průtokový součinitel). Rovnoprocentní je taková, kde stejné přírůstky poměrné změny jedné veličiny vyvolají stejné procentní přírůstky poměrné změny druhé veličiny. [15]

Poměrný průtokový součinitel  $\phi$  je poměr okamžitého průtokového součinitele ( $K_v, A_v$ ) ke jmenovitému, jež je uváděn výrobcem ( $K_{vs}, A_{vs}$ ). Platí tedy vztah:

$$\phi = \frac{A_v}{A_{vs}} = \frac{K_v}{K_{vs}} \quad (119)$$

### c) Regulační poměr

Regulační akční poměr, resp. regulační rozsah  $r$  je dán poměrem  $K_{vs}$  k nejmenší hodnotě  $K_v$ . Čím je poměr větší, tím k lepší regulaci dochází při nízkých výkonech. [30]

$$r = \frac{K_{vs}}{K_{v,\min}} = \frac{\phi_{\max}}{\phi_{\min}} \quad (120)$$

### d) Autorita armatury

Autorita  $P_v$  (nebo také poměrná tlaková ztráta či vlivnost armatury) v potrubní soustavě se uvádí jako poměr dispozičního tlaku na armatuře při plném průtoku vody a jejím plném otevření k dispozičnímu tlaku při nulovém průtoku při zcela uzavřené armatuře. [15]

Obecně platí, že čím je autorita větší, tím lepší je regulační schopnost ventilu. Běžně se v praxi volí  $P_v = 0,3$  až  $0,5$ . Autorita armatury je dána vztahem:

$$P_v = \frac{\Delta p_{v100}}{\Delta p_{v0}} \quad (121)$$

- kde  $\Delta p_{v100}$  je tlaková ztráta ventilu při plném otevření, v Pa;  
 $\Delta p_{v0}$  tlaková ztráta ventilu při plném uzavření, v Pa. [30]

## 8 SBĚRNICOVÁ ELEKTROINSTALACE

### 8.1 Sběrnice a klasická elektroinstalace

Klasická elektroinstalace obsahuje mnoho samostatných obvodů, které mají přesně specifikované účely a přenášejí pouze spínací povely. Tato elektroinstalace je pevná a i při menší změně jsou téměř vždy nevyhnutelné stavební zásahy. Zvyšuje se také nepřehlednost u složitějších systémů. Je problematická i otázka vzájemného propojení více systémů.

Chceme-li efektivně spojit jednotlivé provozně technické funkce do jednoho společného systému řízení, můžeme využít sběrnice elektroinstalace, která využívá jako přenosové médium tzv. instalační sběrnici, ke které jsou připojeny jednotlivé prvky elektroinstalace komunikující mezi sebou pomocí komunikačních protokolů. Uvedené prvky se označují v těchto systémech jako účastníci a dělí se na systémové přístroje, snímače, akční členy a řídicí prvky. Kabeláž, která není určena pro silová vedení, je nahrazena instalační sběrnicí, z čehož plynou výhody instalačních sběrnic, např. snížené nároky na kabeláž, adaptabilita, uživatelská přívětivost a přehlednost.

Podle distribuce řízení lze sběrnice systémy dělit na centralizované a decentralizované (případně částečně decentralizované) systémy: [34]

- a) **Centralizovaný systém** – centrální výpočetní a řídicí jednotka. Největší nevýhodou tohoto přístupu je neustálá hrozba výpadku celé sítě.
- b) **Decentralizovaný systém** – prvky s mikroprocesory a pamětí – mohou zpracovávat úlohy systémů v blízkosti technických instalací. [34]

### 8.2 Sběrnice systémy

V současnosti je k dispozici široká nabídka řídicích systémů (KNX, Lonworks, Ego-n, CIB), přičemž systém by měl:

- zabezpečit požadovanou úroveň řízení;
- zjednodušit elektrické instalace;
- umět řídit veškeré potřebné funkce;
- umožnit rozšíření a změnu bez stavebních zásahů;
- případně být vybaven vizualizačními prostředky;
- umožnit servis a údržbu i na dálku;
- využít požadované designy.

### 8.2.1 iNels CIB

Částečně centralizovaný systém iNels vznikl spoluprací firem Teco a Elko EP. Základem je centrální jednotka na bázi PLC s dvoudrátovou sběrnici CIB (Common Installation Bus), kde napájecí napětí a data jsou vedena společně.

Sběrnice má nominální napájecí napětí 24 V DC, přenosovou rychlost 19,2 kb/s s doporučenou délkou do 500 m nebo až 1700 m s využitím optických kabelů. [35]

Sběrnice umožňuje libovolnou topologii (linie, hvězda, strom), ale nesmí být uzavřena do kruhu. Na jedné větvi může být maximálně 32 jednotek komunikující s centrální jednotkou metodou master-slave, přičemž sběrnici lze rozšiřovat pomocí externích modulů master.

Pro instalaci sběrnice CIB lze použít libovolné dvou vodičové kabely. Doporučené kabely jsou s krouceným stíněným párem, např. J-Y(St)Y1x2x0,8.

Jelikož je sběrnice CIB společným produktem firem Teco a ELKO EP, je možné využít prvky od obou výrobců. Zde je vhodné podotknout rozpor obou firem, který vedl k vývoji dvou samostatných systémů. Jeden systém založen na sběrnici CIB je iNELS třetí generace od firmy ELKO EP a druhý je systém CFox od společnosti Teco.

### 8.2.2 KNX

Systém KNX je decentralizovaný sběrníkový systém, kde každé zařízení má svou vlastní řídicí jednotku. Tyto zařízení si jsou rovnocenné a mohou si vyměňovat informace přímo, tj. bez centrální jednotky. Sběrníkové napětí je 24V (+6/-4V) DC. Rychlost přenosu dat je 9,6 kbit/s. Do systému lze připojit až 12000 sběrníkových zařízení. V roce 2006 byl KNX systém schválen jako celosvětová norma ISO/IEC 14543-3. [35]

### 8.2.3 LONWORKS

Standard LON (Local Operating Network) byl vyvinut počátkem 90. let americkou firmou Echelon jako univerzální a levné komunikační spojení. Jde o decentralizovaný sběrníkový systém, kde podobně jako KNX mohou zařízení komunikovat bez centrální jednotky.

Pracuje s nominálním napětím 24V DC a rychlost je 600b/s až 1,25Mb/s podle použitého média a délky spojení. U TP: 2700m – 10kb/s, 130m – 1250kb/s. V praxi se tedy sběrnice LON s výhodou využívá v aplikacích, kde je kladen nárok na délku sběrnice (nikoliv na rychlost přenosu).

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 9 POPIS A PARAMETRY OBJEKTU

Základem pro posouzení objektu a pro následný návrh jednotlivých rekonstrukčních řešení jsou vstupní data o stávajícím stavu rodinného domu.

### 9.1 Popis objektu a okrajových podmínek

#### 9.1.1 Okrajové podmínky

Starý rodinný dům leží v příměstské části města Zlín – Štípa. Jedná se stavbu s jedním nadzemním podlažím, částečným podsklepením a přípravou pro půdní vestavbu.

Tab. 33: Okrajové podmínky lokality dle ČSN EN 12831

Zlín - Štípa	
Nadmořská výška	270 m. n. m.
Délka otopného období	226 dnů
Průměrná venkovní teplota přes otopné období	4 °C
Vnější teplota, při které se zahajuje vytápění	13 °C
Návrhová venkovní teplota	-12 °C

#### 9.1.2 Popis objektu a jeho užití



Obr. 6: Letecký snímek pozemku

Řešený objekt RD se nachází v příměstské zástavbě na pozemku, viz obrázek (Obr. 6), s výměrou cca 650 m<sup>2</sup> s vlastní zahradou, studnou a přípojkou zemního plynu. SV strana domu leží na hranici pozemku, SZ strana rovnoběžně s pozemní komunikací, ze které je přístup po chodníku podél JZ strany k hlavnímu vstupu a na nádvoří. Z JV strany domu se nachází přistavená předsíň, pokoj pro hosty a vikýř, viz obrázek (Obr. 7).

Objekt je současně určen k celoročnímu užívání pro jednu tříčlennou rodinu. Výstavba je datována kolem roku 1925, od té doby prošel mnohými úpravami, ale základní stavební konstrukce jsou původní, především pískovcové základy a zdi z vepřovic. V roce 1944

došlo k podřezání obvodového zdiva s následnou izolací proti vlhkosti s použitím plných pálených cihel. Kolem roku 1990 byla provedena nová hydroizolace základů.

V současné době je využíváno k bydlení pouze jedno podlaží, přičemž půdní prostor, viz obrázek (Obr. 8), je nevyužíván. Avšak součástí rekonstrukce bude také právě využití těchto prostorů, kde již při dřívějších úpravách domu byl postaven vikýř a usazeny balkonové dveře. Funkční částí domu je také částečné podsklepení, které je z větší části pod zemí.



*Obr. 7: Jižní pohled na objekt*

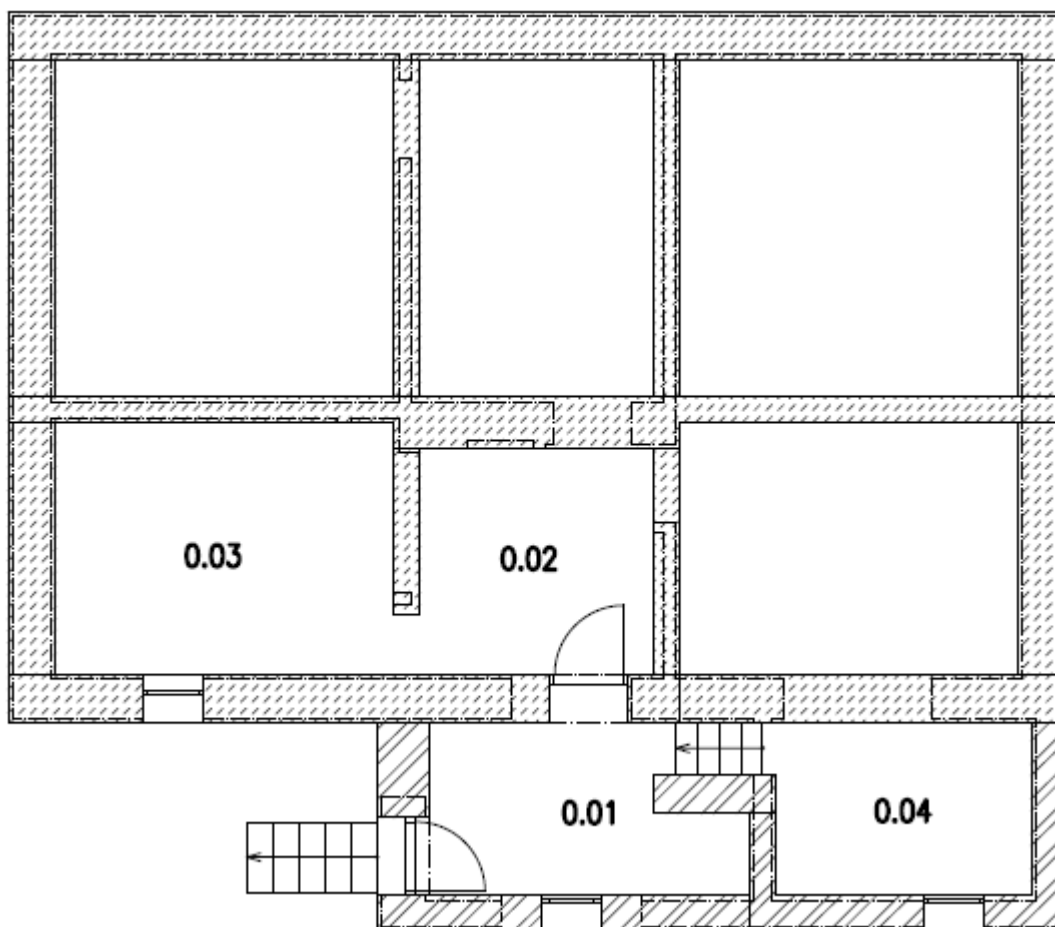


*Obr. 8: Půdní prostor před rekonstrukcí*

### a) Podzemní podlaží

Podzemní podlaží je z větší míry pod zemí a slouží pro skladování věcí a potravin, nachází se zde provizorní dílna, technická vybavení vytápění, ohřevu teplé vody a domácí vodárna. Tyto prostory jsou chráněny proti zamrznutí a vyhřívány umístěnými technologiemi.

Půdorys podzemního podlaží je na obrázku (Obr. 9) a charakteristika místností uvedena v tabulce (Tab. 34) v souladu s normou ČSN 73 0540 a ČSN EN 12831.



Obr. 9: Půdorys místností podzemního podlaží

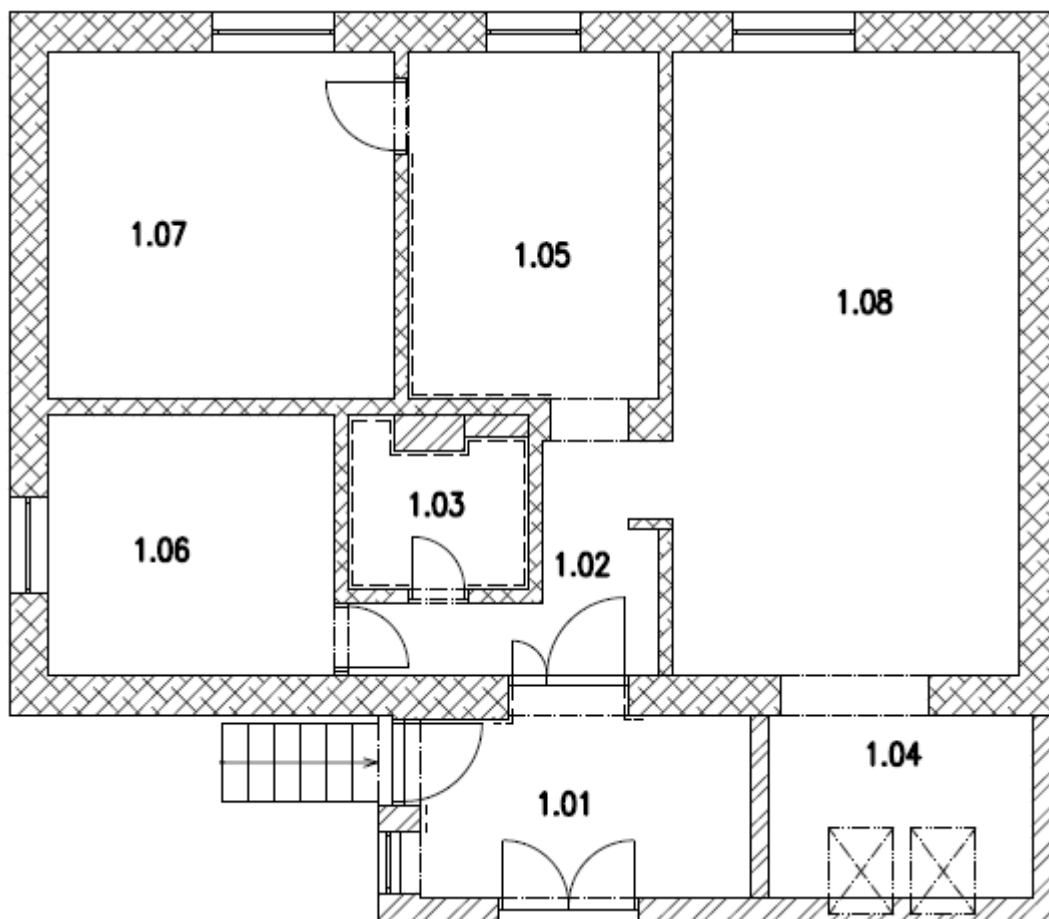
Tab. 34: Parametry místností podzemního podlaží

Označení	Název	Plocha $A_i$ [m <sup>2</sup> ]	Objem $V_i$ [m <sup>3</sup> ]	Teplota $\theta_i$ [°C]	Vlhkost $\phi_i$ [%]	Int. Větrání $n$ [1/h]
0.01	Chodba	9,2	16,6	5 <sup>1)</sup>	70	0,5
0.02	Tech. místnost	8,2	14,7	5 <sup>1)</sup>	70	0,5
0.03	Sklep 1	11,7	21,1	5 <sup>1)</sup>	70	0,5
0.04	Sklep 2	6,2	16,1	5 <sup>1)</sup>	70	0,5

<sup>1)</sup>Nevytápěné prostory chráněné proti mrazu a vyhřívány technickým zařízením

### b) Nadzemní podlaží

První nadzemní podlaží (1. NP) slouží k bydlení tří až čtyřčlenné rodiny. Pozn.: prostory chodby, kuchyně, obývacího pokoje a pokoje pro hosty jsou vzájemně propojeny, ale pro přehlednost a výpočty jsou logicky rozděleny na jednotlivé zóny. Půdorys 1. NP je na následujícím obrázku (Obr. 10) a parametry místností v tabulce (Tab. 35).



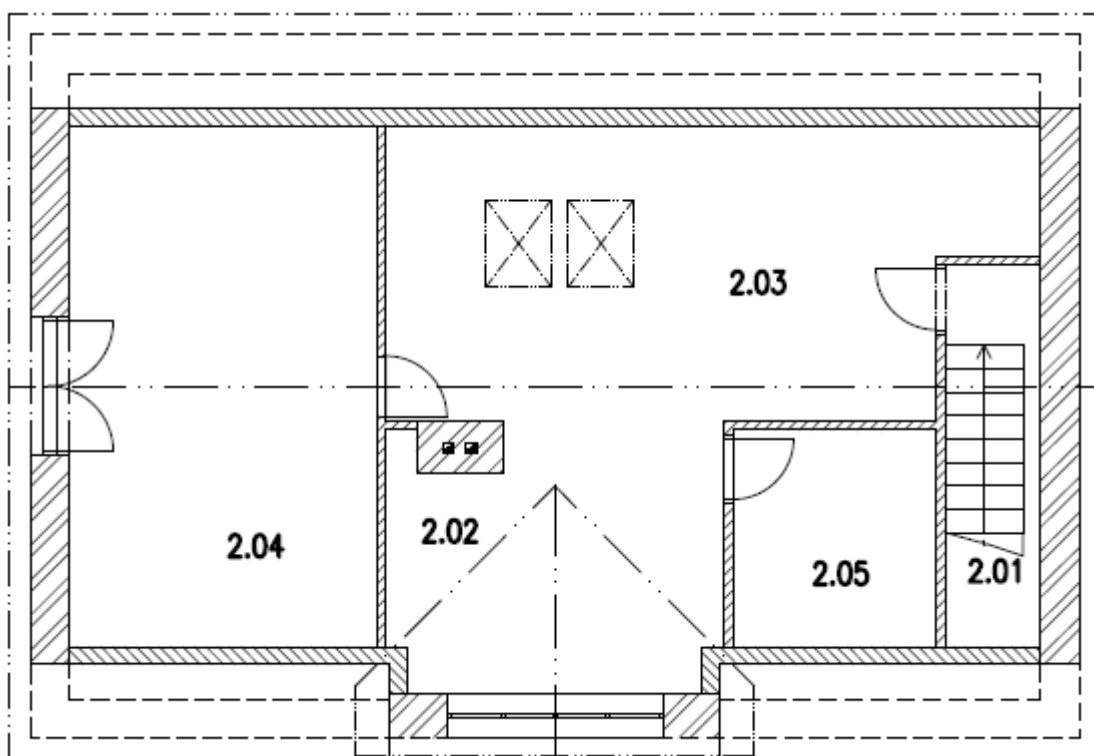
Obr. 10: Půdorys místností 1. NP

Tab. 35: Parametry místností v 1. NP

Označení	Název	Plocha $A_i$ [m <sup>2</sup> ]	Objem $V_i$ [m <sup>3</sup> ]	Teplota $\theta_i$ [°C]	Vlhkost $\varphi_i$ [%]	Int.větrání $n$ [1/h]
1.01	Předsíň	9,5	21,9	15	50	0,5
1.02	Chodba	7,6	20,5	20	50	0,5
1.03	WC a koupelna	4,9	13,2	24	70	1,5
1.04	Pokoj pro hosty	7,3	19,0	20	50	0,5
1.05	Kuchyně	12,5	33,8	20	50	1,5
1.06	Pokoj	16,7	45,1	20	50	0,5
1.07	Ložnice	10,5	28,2	20	50	0,5
1.08	Obývací pokoj	30,3	81,7	20	50	0,5

### c) Podkroví

Podkroví v současném stavu není v provozu, jedná se pouze o návrhové řešení pro rekonstrukce podle přání majitele objektu. V práci se bude dále využívat k výpočtům tepelných ztrát, vytápění, větrání apod. s uvedeným půdorysem, dle obrázku (Obr. 11) a s parametry místností podle příslušné tabulky (Tab. 36).



Obr. 11: Půdorys podkroví

Tab. 36: Parametry místností v podkroví

Označení	Název	Plocha $A_i$ [m <sup>2</sup> ]	Objem $V_i$ [m <sup>3</sup> ]	Teplota $\theta_i$ [°C]	Vlhkost $\phi_i$ [%]	Int. větrání $n$ [1/h]
2.01	Schodiště	4,8	11,1	15	50	0,5
2.02	Jídlna s KK	11,6	24,7	20	50	0,5
2.03	Obývací pokoj	23,6	51,8	24	70	1,5
2.04	Pokoj	25,9	57,2	20	50	0,5
2.05	Koupelna	5,9	12,3	20	50	1,5

## 9.2 Stávající stav

### *Stropy a střešní konstrukce*

Sedlová střecha je tvořena pouze střešní konstrukcí, střešní krytinou a jednovrstvou difuzní folií. U přistavěných částí (vstupní hala a místnost pro hosty) je střešní konstrukce zároveň

stropní částí. Zde je konstrukce tvořena sádrokartonem, parozábranou, minerální vlnou, difuzní folií a střešní konstrukcí. Zbylé stropy tvoří omítka, dřevěné desky, parozábrana, minerální vlna a volně položené dřevěné desky. V jedné části je připraven vstup do půdního prostoru, který je současně pouze zakryt polystyrenovými deskami.

### *Podlahy*

V obytné části se nacházejí podlahy podsklepené i nepodsklepené s kontaktem se zeminou. Podlaha nepodsklepených prostor, stejně tak i podlahy ve sklepech, tvoří obecně škvára či škvárobeton, asfaltová izolace, beton a podlahové linoleum.

Podsklepené podlahy mají skladbu z železobetonu, betonu a podlahového linolea, popř. dlažby. Některé části podsklepených podlah jsou již opatřeny tepelnou izolací.

### *Okna a dveře*

Původní dřevěná okna se dvěma skly byla nahrazena novými plastovými okny. V přístavbě jsou dvě střešní okna a ve vstupní hale dřevěné eurookno. Dřevěná okna jsou také použita ve vikýřové konstrukci a sklepních prostorech.

Dveřní výplně jsou provedeny pomocí plastových balkonových dveří v půdním prostoru a vstupní dveře jsou dřevěné konstrukce s izolačním dvojsklem.

### *Obvodové zdivo*

Převážná část obvodového zdiva je původní konstrukce z nepálených cihel, vepřovic, o tloušťce 450 mm, tyto stěny jsou již opatřeny tepelnou izolací, výjimku ovšem tvoří sokly. Přístavby jsou z pálených cihel nebo pórobetonu tloušťky 300 mm. Na vnitřní straně je vápenocementová omítka a na vnější, až na výjimky, břizolit a tepelná izolace z polystyrenu tloušťky 50 mm.

Zdivo sklepa je tvořeno původními kamennými základy, které jsou izolovány proti vlhkosti drenážními trubkami, nopovou folií a hydroizolací.

## **9.2.1 Skladba konstrukcí a rozložení tlaků vodní páry**

Výpočty součinitele prostupu tepla a průběhy tlaků vodních par byly řešeny za pomoci programu Stavební fyzika a jeho modulu, Teplo 2014 EDU.

V následujícím textu jsou popsány vrstvy konstrukce obvodové stěny (Tab. 37) a soklů (Tab. 38), jelikož obvodové stěny jsou stěžejní částí budovy a stávající soklové části jsou problémovou částí obálky budovy a dochází zde k potížím s vlhkem a plísněmi.

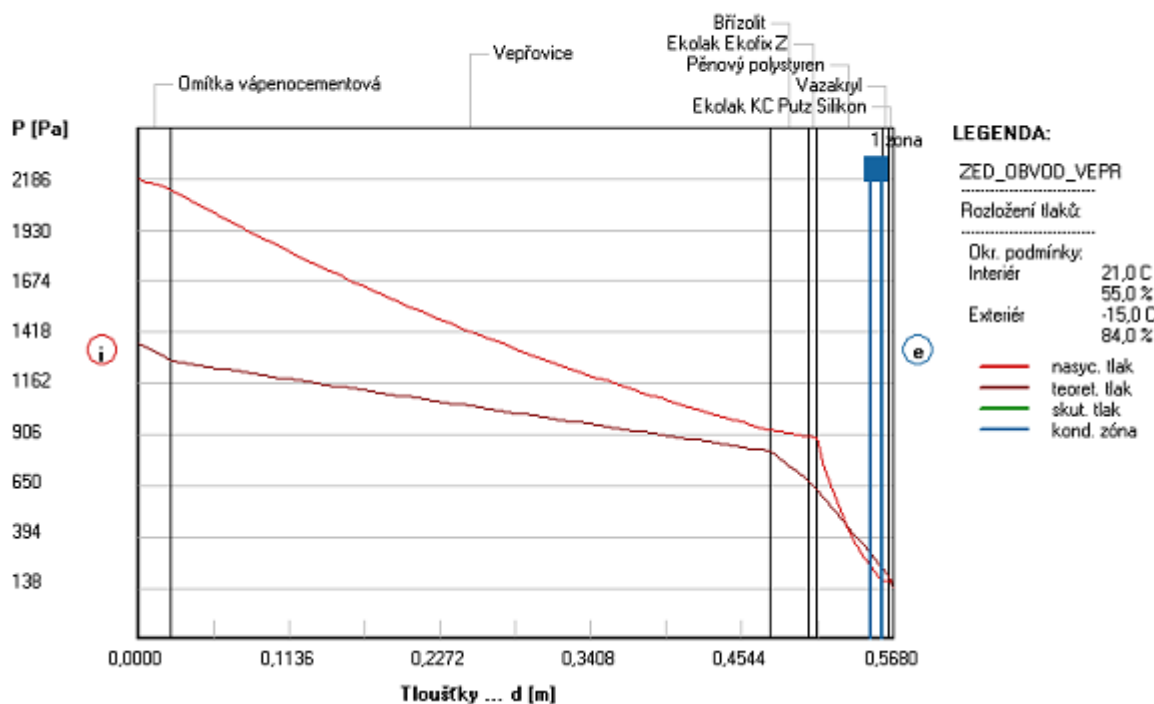
Tab. 37: Skladba současné převažující obvodové zdi

Materiál	$d$ [m]	$\lambda$ [W/(m · K)]
Vápenocementová omítka	0,025	0,990
Vepřovice	0,450	0,600
Břízolit	0,030	0,900
Ekolak Ekofix Z	0,005	0,570
Pěnový polystyren	0,050	0,038
Vazakryl	0,005	0,570
Ekolak KC Putz Silikon	0,003	0,800

Součinitel prostupu tepla obvodové stěny z vepřovic:  $U = 0,443 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

### Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce

Zatížení venkovní návrhovou teplotou a vlhkostí podle ČSN 730540



Obr. 12: Průběh tlaků vodní páry v obvodových stěnách z vepřovic

V samotných vepřovicích nedochází ke kondenzaci, k té dochází v prostoru izolace.

- Množství zkondenzované vodní páry za rok  $M_c$ :  $0,0287 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$
- Množství vypařitelné vodní páry za rok  $M_{ev}$ :  $3,8353 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$
- Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než  $-5,0 \text{ °C}$ .

**Požadavky:**  $M_c < M_{ev}$  a současně  $M_c \leq 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$

- roční bilance vodní páry – splněno;
- množství zkondenzované vodní páry – splněno.

Sokly obvodových zdí, jež nemají dokončenu tepelnou izolaci, jsou částí konstrukce, kde hrozí riziko vzniku plísní, či kondenzace vodní páry. Tento jev je způsoben právě špatnou tepelnou izolací, která vede ke kritickému poklesu povrchové teploty.

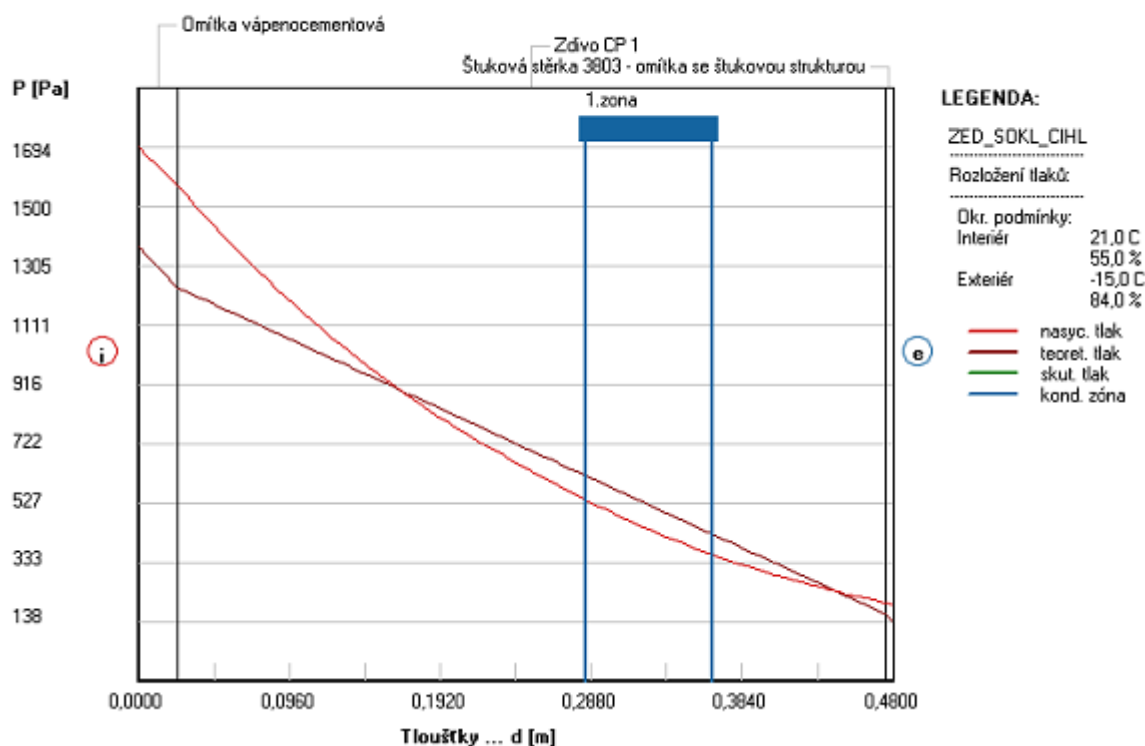
Tab. 38: Skladba soklových částí obvodových zdí

Materiál	$d$ [m]	$\lambda$ [W/(m · K)]
Vápenocementová omítka	0,025	0,990
Plná pálená cihla	0,450	0,800
Štuková stěrka	0,005	0,490

Součinitel prostupu tepla soklovou částí zdí:  $U = 1,302 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

#### Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce

Zatížení venkovní návrhovou teplotou a vlhkostí podle ČSN 730540



Obr. 13: Průběh tlaků vodní páry v soklových částech před rekonstrukcí

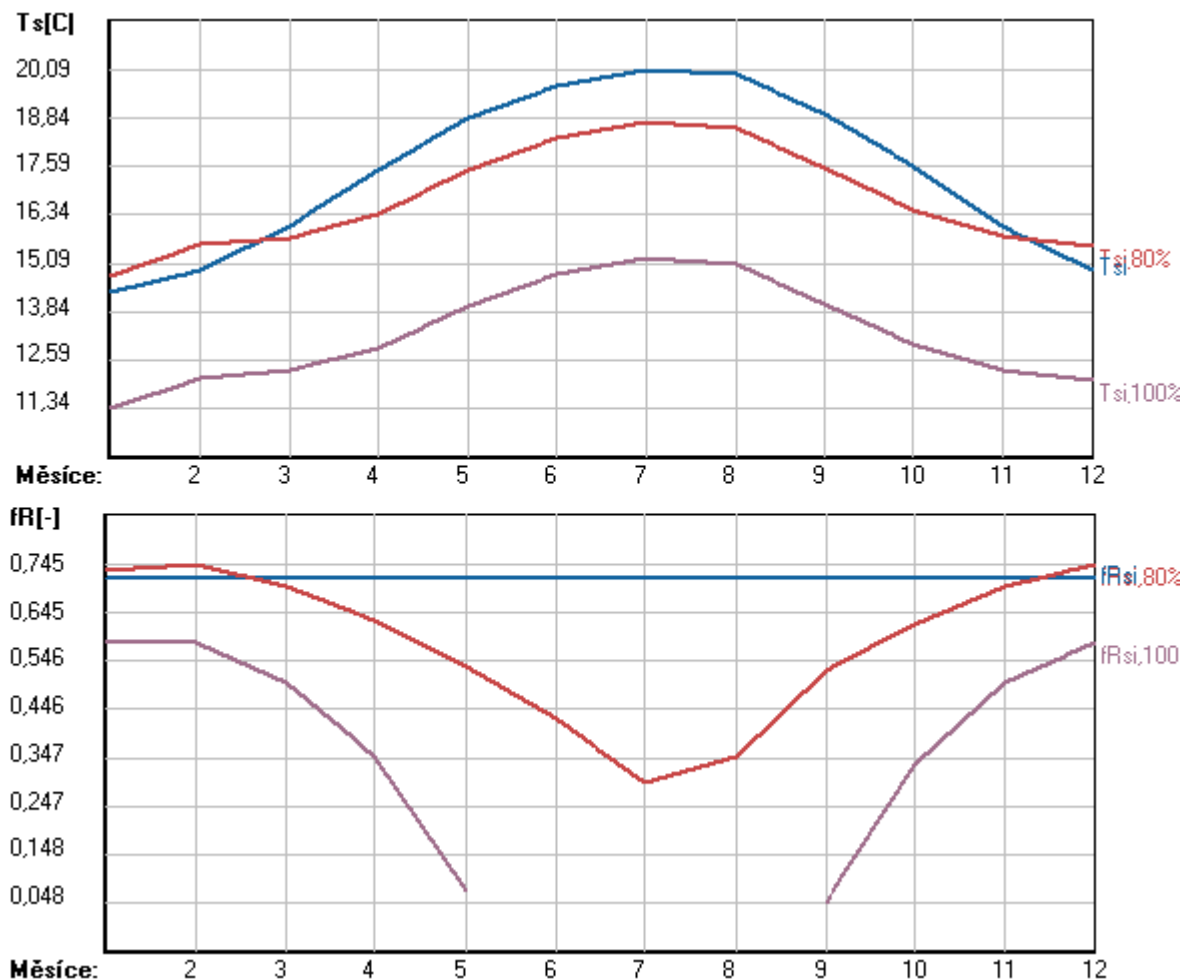
#### Bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

- Množství zkondenzované vodní páry za rok  $M_c$ :  $0,0106 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$
- Množství vypařitelné vodní páry za rok  $M_{ev}$ :  $2,7439 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$
- Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než  $-10,0 \text{ °C}$ .

**Požadavky:**  $M_c < M_{ev}$  a současně  $M_c \leq 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$

- roční bilance vodní páry – splněno;
- množství zkondenzované vodní páry – splněno.

Požadavky jsou splněny, ale problémem je pokles vnitřní povrchové teploty, navíc na těchto částech leží konstrukce z vepřovic, náchylná na vlhkost, proto by bylo vhodné, aby v prostoru jejich kontaktu nedocházelo k žádné kondenzaci.



Obr. 14: Minimální vnitřní povrchová teplota  $\theta_{si}$  a teplotní faktor  $f_{Rsi}$

Z obrázku (Obr. 14) je vidět, že zde dochází v zimních měsících k problémům s tvorbou plísní, kritická hodnota pro tvorbu plísní je relativní vlhkost 80%. Problém způsobuje pokles vnitřní povrchové teploty pod kritickou hodnotu, tj. pokles teplotního faktoru  $f_{Rsi}$ .

Následuje výpočet povrchové teploty a teplotního faktoru pro leden ( $\theta_{em} = -2,3$  °C).

Součinitel prostupu tepla pro výpočet vnitřní povrchové teploty:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{\lambda}{d} + R_{se}} = \frac{1}{0,25 + 0,598 + 0,04} = 1,126 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Teplotní tok  $\dot{q}$ , ve W, lze vyjádřit pomocí vztahu:

$$\dot{q} = \frac{1}{R_{si}} (\theta_i - \theta_{si}) = U (\theta_i - \theta_e) \quad (122)$$

Vnitřní povrchová teplota konstrukce  $\theta_{si}$  vyjádřena z předchozího vztahu:

$$\theta_{si} = \theta_i - U(\theta_i - \theta_e)R_{si} = 21 - 1,126 \cdot (21 - (-2,3)) \cdot 0,25 = 14,44 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Teplotní faktor povrchu konstrukce:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_{ai} - \theta_e} = \frac{14,44 - (-2,3)}{21 - (-2,3)} = 0,718$$

Stanovení kritického teplotního faktoru:

$$f_{Rsi,cr} = 1 - \frac{237,3 + 2,1 \cdot \theta_{ai}}{\theta_{ai} - \theta_e} \cdot \frac{1}{1,1 - 17,269/\ln(\varphi_{i,r}/\varphi_{si,cr})}$$

$$f_{Rsi,cr} = 1 - \frac{237,3 + 2,1 \cdot 21}{21 - (-2,3)} \cdot \frac{1}{1,1 - 17,269/\ln(55/80)} = 0,744$$

Vypočítané hodnoty nesplňují podmínku dle ČSN EN 73 0540-2 a EN ISO 13788:

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

### 9.2.2 Součinitel prostupu tepla konstrukcí

Hodnoty součinitelů prostupu tepla konstrukcí, které se v objektu ve větší míře nacházejí, jsou uvedeny v tabulce (Tab. 39). Spodní část znázorňuje vliv již provedených úprav.

Tab. 39: Součinitel prostupu tepla konstrukcí před rekonstrukcí

Konstrukce	Součinitel prostupu tepla $U$ [W/(m <sup>2</sup> K)]			Splnění požadované hodnoty
	Vypočteno	Požadováno	Doporučeno	
Obvodové zdi	0,42	0,30	0,25	<b>ne</b>
Soklové části	1,30	0,30	0,25	<b>ne</b>
Plastová okna	1,15	1,50	1,20	ano
Střešní okna	1,40	1,40	1,10	ano
Vchodové dveře	1,60	1,70	1,20	ano
Stropy pod nevytápěnou půdou	0,21	0,30	0,20	ano
Podlaha - kontakt se zeminou	1,79	0,45	0,30	<b>ne</b>
Podlaha - podsklepená	1,08	0,60	0,40	<b>ne</b>
<b>Před úpravami v roce 2007</b>				
Obvodová stěna	0,93	0,30	0,25	<b>ne</b>
Původní okna (zdvojená)	2,60	1,50	1,20	<b>ne</b>
Stropy pod nevytápěnou půdou	1,20	0,30	0,20	<b>ne</b>
Podlaha - podsklepená	1,77	0,60	0,40	<b>ne</b>

Z uvedených hodnot je patrné, že dřívější úpravy vedly ke snížení součinitelů prostupu tepla, některé již splňují požadavky platných norem, především výplně otvorů a stropy. Současně je zde ovšem několik dalších částí, které vyžadují rekonstrukci či jiné úpravy.

### 9.2.3 Průměrný součinitel prostupu tepla

Prvním krokem pro stanovení  $U_{em}$  je určení ploch jednotlivých konstrukcí a poté výpočet měrné ztráty prostupem tepla  $H_T$ . Na základě získaných hodnot lze stanovit průměrný součinitel prostupu tepla, který musí splňovat podmínku  $U_{em} \leq U_{em,N}$ .

Měrná tepelná ztráta prostupem byla vypočítána podle vztahů uvedených v teoretické části, stavební fyzika. Vliv tepelných vazeb byl zjednodušenou metodou započítán pomocí přírážky  $\Delta U_{tb}$  odpovídající konstrukci s běžnými tepelnými mosty. Podrobnější hodnoty ploch, součinitelů prostupu tepla, korekčních činitelů a hodnot měrných tepelných ztrát jsou uvedeny dále v tabulce (**Tab. 40**). Měrná tepelná ztráta budovy před rekonstrukcí:

$$H_T = \sum(A_j U_j b_j) + A \cdot \Delta U_{tb} = 137,93 + 359,96 \cdot 0,1 \text{ W/K}$$

$$H_T = 155,92 \text{ W/K}$$

Nyní lze vypočítat průměrný součinitel prostupu tepla:

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} = \frac{155,92}{359,96} \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$U_{em} = 0,43 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Hodnota požadovaná, která zde odpovídá hodnotě referenční budovy, se stanoví jako:

$$U_{em,N,20} = \frac{\sum U_{Nj} A_j b_j}{A} + 0,02 = \frac{113,40}{359,96} + 0,02 = 0,34 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$U_{em,N,20} = 0,34 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla má hodnotu:

$$U_{em,rec} = 0,75 \cdot U_{em,N} = 0,75 \cdot 0,34 = 0,25 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$U_{em,rec} = 0,25 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Vypočítaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla, pro stávající objekt, nesplňuje stanovenou podmínku,  $U_{em} \leq U_{em,N}$ , a je tedy nevyhovující.

$$U_{em} \not\leq U_{em,N}$$

**Posouzení objektu z hlediska průměrného součinitele prostupu tepla**

Následující tabulka (Tab. 40) představuje popis dílčích konstrukcí a zároveň slouží jako výpočet energetické náročnosti objektu podle platné normy ČSN 73 0540. Součástí je také slovní hodnocení budovy, které se využívá pro energetické štítky budov.

Základní parametry domu před rekonstrukcí:

- Půdorysná plocha:  $A = 116,8 \text{ m}^2$
- Celkový vytápěný objem:  $V = 344,7 \text{ m}^3$

Nejvyšší hodnota průměrného součinitele prostupu tepla je dána výpočtem, přičemž její maximální hodnota je dána objemovým faktorem:

$$A/V = \frac{116,8}{344,7} = 0,34 \Rightarrow U_{\text{em},N,20} = 0,30 + \frac{0,15}{A/V} = 0,74 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Tab. 40: Měrná ztráta tepla prostupem a průměrný součinitel prostupu tepla

Konstrukce	Referenční budova				Skutečná budova			
	Plocha	Součinitel prostupu tepla	Redukční činitel	Měrná ztráta tepla	Plocha	Součinitel prostupu tepla	Redukční činitel	Měrná ztráta tepla
	A	U	b	H <sub>T</sub>	A	U	b	H <sub>T</sub>
	[m <sup>2</sup> ]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[-]	[W/K]	[m <sup>2</sup> ]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[-]	[W/K]
Celkem okna	8,48	1,50	1,00	12,72	8,48	1,18	1,00	10,00
Střešní okna	1,40	1,40	1,00	1,96	1,40	1,40	1,00	1,96
Dveře	4,97	1,70	1,00	5,73	4,97	1,31	1,00	4,68
Obvodové stěny	109,47	0,30	1,00	33,17	109,47	0,46	1,00	50,68
Stropy	96,30	0,30	0,83	23,98	96,30	0,21	0,83	16,94
Střecha	22,49	0,24	1,00	5,40	22,49	0,23	1,00	5,24
Podlaha na zemině	70,10	0,45	0,45	14,30	70,10	0,55	0,68	26,04
Podlaha	46,75	0,60	0,49	13,74	46,75	1,08	0,49	24,81
Celkem	359,96			113,40	359,96			137,93
Tepelné vazby	(359,96 · 0,02)			7,20	(359,96 · 0,1)			18,00
ΣH <sub>T</sub>				<b>120,60</b>				<b>155,92</b>
U <sub>em</sub> (max ≤ 0,5)	U <sub>em</sub> = 113,40/359,96 + 0,02			<b>0,34</b>	156,35/359,96			<b>0,43</b>
	U <sub>em,rec</sub> = U <sub>em</sub> · 0,75			0,25	<b>Nevyhovuje požadované hodnotě</b>			
Klasifikační třída obálky budovy			0,43/0,34	1,29	<b>Třída D - Nevhovující</b>			

Vliv celkových tepelných mostů stávajícího objektu byl vypočítán pomocí konstantní přírážky o hodnotě  $\Delta U_{\text{tbk}} = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , tato zvolená hodnota odpovídá konstrukcím s běžnými tepelnými mosty (dříve standardní řešení). Jak lze také vidět, největší tepelné ztráty jsou podlahami a obálkou budovy.

Průměrný součinitel prostupu tepla nesplňuje požadovanou hodnotu a klasifikační třída obálky budovy byla stanovena na hodnotu  $CI = 1,29 \rightarrow$  třída D - Nevyhovující:

- $U_{em} = 0,43 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \rightarrow$  **Nevyhovuje** hodnotě  $U_{em,N,20} = 0,34 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- $CI = 0,43/0,34 = 1,29$
- $1,0 < CI < 1,5 \rightarrow$  Třída D – **NEVYHOVUJÍCÍ**

#### 9.2.4 Tepelné ztráty a tepelný výkon

Navrhované rekonstrukce a úpravy objektu povedou ke zlepšení tepelných a energetických parametrů, aby bylo možné tyto hodnoty s čím porovnat, je proveden výpočet tepelných ztrát i pro současný stav. Výpočet je proveden podle platné normy ČSN EN 12831 s použitím softwaru TechCON, který má výhodu, že pracuje automaticky ve 3D prostoru, což je výhodné především pro tvarově komplikované stavby.

Tepelné ztráty a návrhový tepelný výkon jednotlivých místností a celého domu jsou uvedeny pomocí přehledové tabulky, přičemž ukázkový příklad je proveden v kapitole pro budovu po rekonstrukci, která je důležitější.

Tab. 41: Tepelné ztráty a tepelný výkon objektu před rekonstrukcí

č.m.	Místnost	$H_{T,ie}$ [W/K]	$H_{T,iue}$ [W/K]	$H_{T,ij}$ [W/K]	$H_{T,ig}$ [W/K]	$\Phi_{V,i}$ [W]	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{HL,i}$ [W]
1.01	Předsíň	17,1	5,0	-3,1	0,0	99	514	613
1.02	Chodba	1,1	5,3	-1,8	0,0	97	147	244
1.03	Koupelna	0,0	3,7	5,1	0,0	207	315	522
1.04	Pokoj	8,6	5,0	0,8	0,0	87	461	548
1.05	Kuchyně	6,8	2,4	-1,0	3,7	511	380	891
1.06	Ložnice	13,7	9,9	-1,4	0,0	145	707	852
1.07	Pokoj	16,7	3,6	-0,4	8,0	235	888	1123
1.08	Obývací pokoj	21,9	6,2	0,0	12,2	423	1290	1713
Celkem						1805	4701	6506

Výsledkem pro objekt před rekonstrukcí jsou tepelné ztráty větráním a prostupem tepla:

$$\Phi_V = 1805 \text{ W} \quad \text{a} \quad \Phi_T = 4701 \text{ W}$$

Jelikož není v objektu navrženo přerušované vytápění, je celkový tepelný výkon:

$$\Phi_{HL} = 6506 \text{ W}$$

Následujícím krokem bude návrh stavebních opatření, která by měla řešit stávající nedostatky a také vést ke snížení měrné tepelné ztráty.

### 9.2.5 Navrhované úpravy

#### a) Stavební úpravy

Obvodové stěny, přesněji jejich soklové části, budou vybaveny tepelnou izolací v místech, kde doposud chybí, tato úprava bude provedena pomocí extrudovaného polystyrenu, který je přímo určen pro soklové části domů. Po dokončení těchto částí bude obvodové zdivo prvního nadzemního podlaží kompletní.

Další jsou podlahy v kontaktu se zeminou, které budou opatřeny vrstvou podlahového polystyrenu a zakryty dřevěnými OSB deskami, popř. vybaveny podlahovým vytápěním. Vrchní nášlapná vrstva bude tvořena plovoucí podlahou nebo dlažbou v prostoru kuchyně.

Podlahy, které jsou podsklepeny, již mají v některých místech tepelnou izolaci z polystyrenu směrem ze sklepa, tato izolace bude dodělána i ve zbývajících částech. Také bude z vrchní strany přidána skladba podlahy podobná jako u podlah v kontaktu se zeminou. V prostorách předsíně a chodby je plánováno využití podlahového vytápění.

Zásadní změny dozná podkroví, které bude nově přestavěno na obytné prostory. Vzniknou zde čtyři místnosti a schodiště směrem z obývacího pokoje v prvním patře. Podkroví bude obsahovat jeden pokoj s balkonovými dveřmi, obývací pokoj se dvěma střešními okny, který bude zároveň spokojen s jídelnou s kuchyňským koutem v prostorách vikýře. Další místností je koupelna s toaletou a vlastním oknem. Místnosti od sebe budou odděleny příčkami ze sádrokartonu, které budou ukotveny na zdvojených střešních a stropních trámech, které by jinak ubíraly prostor v místnostech. Stěny a stropy pod střešním prostorem budou tvořeny konstrukcí se sádrokartonem, parotěsnou folií a tepelnou izolací z minerální vlny. Podlahovou konstrukci je možné provést tak, že na stávající dřevěné záklopové desky bude natažena kročejová izolace, na kterou pak již bude položena dřevěná nášlapná vrstva.

Uvedené úpravy by se měly podílet na snížení průměrného součinitele prostupu tepla a také ke snížení měrných tepelných ztrát budovy, samozřejmě tepelná ztráta může být vyšší, než u stávajícího stavu, jelikož bude dům rozšířen o celé obytné podkroví.

#### b) Systémy techniky prostředí

Rekonstrukce se nebude týkat pouze stavebních úprav, ale také návrhu nového vytápěcího systému, který bude využívat kotel na zemní plyn, tepelné čerpadlo a solární panely. Další je také návrh systému na přípravu teplé vody, případně i návrh klimatizačního zařízení.

Součástí bude samozřejmě i návrh inteligentní elektroinstalace a řízení systémů.

## 9.3 Rekonstrukce

### 9.3.1 Zhodnocení zateplení obvodových zdí

Důležitou částí rekonstrukce je vyhodnocení, zda se finančně vyplatí dodatečná tepelné izolace obvodových zdí, kterou jsou již z dřívějších let zatepleny 5 cm polystyrenem.

Norma požaduje, aby byl součinitel prostupu tepla obvodových zdí  $U = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  a méně. Stávající konstrukce má hodnotu  $U = 0,44 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , další zateplení tloušťky 5cm by snížilo tuto hodnotu na  $U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Větší tloušťka by ovšem vyžadovala speciální upevnění izolace, která by cenu dále navyšovala.

Pro výpočet jsou použity denostupně  $D$ , v K·den, které jsou pro danou lokalitu a objekt:

$$D = d(\theta_{is} - \theta_{es}) \quad (123)$$

$$D = 226 \cdot (20 - 4) = 3616 \text{ K} \cdot \text{den}$$

kde  $d$  je počet otopných dní;

$\theta_{is}$  průměrná vnitřní výpočtová teplota, ve °C;

$\theta_{es}$  průměrná venkovní teplota v otopném období.

Spotřeba tepla  $Q$ , v kWh/rok, na vytápění je dána vztahem:

$$Q = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot \Phi_{HL} \cdot D}{\theta_i - \theta_e} \quad (124)$$

kde  $\varepsilon$  je opravný součinitel zahrnující provedení a řízení soustavy;

$\eta_o, \eta_r$  účinnost regulace soustavy a rozvodu vytápění.

Při zjednodušení a úpravě lze vypočítat změnu měrné spotřeby tepla  $\Delta\dot{q}$ , ve Wh/m<sup>2</sup>:

$$\Delta\dot{q} = \frac{24 \cdot \Delta U \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot D}{\theta_i - \theta_e} = 24 \cdot \Delta U \cdot D \quad (125)$$

Pro daný případ je rozdíl součinitele prostupu tepla  $\Delta U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  a potřeby tepla:

$$\Delta\dot{q} = 24 \cdot 0,16 \cdot 3616 = 13885 \text{ Wh}/\text{m}^2$$

Cena zateplení byla zjištěna v hodnotě 991 Kč/m<sup>2</sup>, předpokládaná cena zemního plynu po rekonstrukci 1,4 Kč/kWh. Prostá doba návratnosti investice je potom dána vztahem:

$$T_s = \frac{\text{investice}}{\text{výnos}} = \frac{991}{13,885 \cdot 1,4} \cong 51 \text{ let} \quad (126)$$

Výpočet je značně zjednodušen, ale pro hrubý odhad postačující. Na základě výpočtu bylo rozhodnuto ponechat původní obvodové zdi ve stávajícím stavu.

### 9.3.2 Součinitel prostupu tepla konstrukcí

Tabulka uvedena dále (Tab. 42) porovnává součinitele prostupu tepla konstrukcí, které budou použity v domě po rekonstrukci, s hodnotami, které stanovují normy. Provedené úpravy vedly ke snížení součinitelů prostupu tepla u většiny konstrukcí.

Tab. 42: Součinitel prostupu tepla konstrukcí po rekonstrukci

Konstrukce	Součinitel prostupu tepla $U$ [W/(m <sup>2</sup> K)]			
	Vypočteno	Požadováno	Doporučeno	Původní
Obvodové zdi	0,36	0,30	0,25	0,46
Okna celkem	1,21	1,50	1,20	1,18
Střešní okna	1,22	1,40	1,10	1,40
Dveře	1,25	1,70	1,20	1,31
Stropy	0,21	0,30	0,20	0,21
Střecha	0,20	0,24	0,16	0,23
Podlaha - kontakt se zeminou	0,37	0,45	0,30	1,79
Podlaha - podsklepená	0,35	0,60	0,40	1,08

### 9.3.3 Průměrný součinitel prostupu tepla

Stejně jako v předchozí kapitole, stávající stav, tak i zde je prvním krokem pro stanovení  $U_{em}$  určení ploch jednotlivých konstrukcí a výpočet měrné ztráty prostupem tepla  $H_T$ .

Podrobnější hodnoty ploch, součinitelů prostupů tepla, korekčních činitelů a hodnot měrných tepelných ztrát jsou uvedeny v tabulce (Tab. 43). Měrná tepelná ztráta:

$$H_T = \sum (A_j U_j b_j) + A \cdot \Delta U_{tb} = 129,32 + 434,83 \cdot 0,1 = 138,02 \text{ W/K}$$

Nyní lze vypočítat průměrný součinitel prostupu tepla:

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} = \frac{138,02}{434,83} = 0,32 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Hodnota požadovaná, která zde odpovídá hodnotě referenční budovy, se stanoví jako:

$$U_{em,N,20} = \frac{\sum U_{Nj} A_j b_j}{A} + 0,02 = \frac{145,30}{434,83} + 0,02 = 0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$U_{em,N,20} = 0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla má hodnotu:

$$U_{em,rec} = 0,75 \cdot U_{em,N} = 0,75 \cdot 0,35 = 0,27 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Vypočítaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla splňuje stanovenou podmínku:

$$U_{em} \leq U_{em,N}$$

### Posouzení objektu z hlediska průměrného součinitele prostupu tepla

Následující tabulka (Tab. 43) představuje popis dílčích konstrukcí a zároveň slouží jako výpočet energetické náročnosti objektu podle platné normy ČSN 73 0540. Součástí je také slovní hodnocení budovy, které se využívá pro energetické štítky budov.

Základní parametry domu před rekonstrukcí:

- Půdorysná plocha podlah:  $A = 198,0 \text{ m}^2$
- Celkový vytápěný objem:  $V = 485,4 \text{ m}^3$

Nejvyšší hodnota průměrného součinitele prostupu tepla je dána výpočtem, nejvýše však:

$$A/V = \frac{198,0}{485,4} = 0,41 \Rightarrow U_{em,N,20} = 0,30 + \frac{0,15}{A/V} = 0,67 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Tab. 43: Měrná ztráta tepla prostupem a průměrný součinitel prostupu tepla

Konstrukce	Referenční budova				Skutečná budova			
	Plocha	Součinitel prostupu tepla	Redukční činitel	Měrná ztráta tepla	Plocha	Součinitel prostupu tepla	Redukční činitel	Měrná ztráta tepla
	A	U	b	H <sub>T</sub>	A	U	b	H <sub>T</sub>
	[m <sup>2</sup> ]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[-]	[W/K]	[m <sup>2</sup> ]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[-]	[W/K]
Celkem okna	11,87	1,50	1,00	17,81	11,87	1,21	1,00	14,40
Střešní okna	3,50	1,40	1,00	4,90	3,50	1,22	1,00	4,27
Dveře	8,17	1,70	1,00	13,89	8,17	1,25	1,00	10,20
Obvodové stěny	158,66	0,30	1,00	56,57	158,66	0,36	1,00	56,57
Stropy	52,66	0,30	0,83	13,11	52,66	0,21	0,83	9,06
Střecha	83,12	0,24	1,00	19,95	83,12	0,20	1,00	16,39
Podlaha na zemině	70,10	0,45	0,45	14,30	70,10	0,22	0,68	10,37
Podlaha	46,75	0,60	0,49	13,74	46,75	0,35	0,49	8,07
Celkem	434,83			145,30	434,83			129,32
Tepelné vazby	(434,83 · 0,02)			8,70	(435,93 · 0,1)			8,70
ΣH <sub>T</sub>				<b>154,00</b>				<b>138,02</b>
U <sub>em</sub> (max ≤ 0,5)	U <sub>em</sub> = 145,30/434,83 + 0,02			<b>0,35</b>	138,02/434,83			<b>0,32</b>
	U <sub>em,rec</sub> = U <sub>em</sub> · 0,75			0,27	<b>Vyhovuje požadované hodnotě</b>			
Klasifikační třída obálky budovy			0,32/0,35	0,90	<b>Třída C - Vyhovující</b>			

Průměrný součinitel prostupu tepla splňuje požadovanou hodnotu a klasifikační třída obálky budovy byla stanovena na hodnotu  $CI = 0,90 \rightarrow$  třída C - Vyhovující:

- $U_{em} = 0,32 \text{ W/(m}^2\text{K)} \rightarrow$  **Vyhovuje** hodnotě  $U_{em,N,20} = 0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- $CI = 0,32/0,35 = \mathbf{0,90}$
- $0,75 < CI < 1,0 \rightarrow$  Třída C – **VYHOVUJÍCÍ**

Jak je možné z tabulek (Tab. 40 a Tab. 43) vyčíst, hodnota součinitele prostupu tepla byla snížena ze stávajících  $U_{em} = 0,43 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  na  $U_{em} = 0,32 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  a měrná ztráta tepla z hodnoty  $H_T = 155,92 \text{ W/K}$  na  $H_T = 138,02 \text{ W/K}$ , přičemž současně došlo k navýšení objemu vytápěných prostor zhruba o  $80 \text{ m}^3$  a teplosměnných ploch o  $75 \text{ m}^2$ .

### 9.3.4 Tepelných ztráty a tepelný výkon

Pro ukázkou je uveden výpočet pro místnost pokoje (1.07), který má ztráty do exteriéru, nevytápěné části podstřešního prostoru a také má tepelné zisky z vedlejší místnosti.

Měrná tepelná ztráta obvodovými stěnami:

$$H_{T,ie,os} = \sum A_k U_{kc} e_k = 24,77 \cdot (0,438 + 0,05) \cdot 1 = 12,09 \text{ W/K}$$

Měrná tepelná ztráta okny:

$$H_{T,ie,ok} = \sum A_k U_{kc} e_k = 2,1 \cdot (1,15 + 0,4) \cdot 1 = 3,26 \text{ W/K}$$

Měrná tepelná ztráta nevytápěným prostorem:

$$H_{T,iue} = \sum A_k U_k b_u = 3,8 \cdot 0,212 \cdot \frac{20 - (-6)}{20 - (-12)} = 0,65 \text{ W/K}$$

Měrná tepelná ztráta z/do vytápěných prostorů:

$$H_{T,ij} = \sum f_{ij} A_k U_k = \frac{20 - 24}{20 - (-12)} \cdot 2 \cdot 1,795 = -0,45 \text{ W/K}$$

Měrná tepelná ztráta přilehlou zeminou:

$$H_{T,ig} = f_{g1} f_{g2} (\sum A_k U_{equiv,k}) G_w = 1,45 \cdot \frac{20 - 4}{20 - (-12)} \cdot (20,59 \cdot 0,23) \cdot 1 = 3,43 \text{ W/K}$$

Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla:

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

$$\Phi_{T,i} = (12,09 + 3,26 + 0,65 + 3,43 - 0,45)(20 - (-12)) = 607 \text{ W}$$

Návrhová tepelná ztráta větráním:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i}(\theta_{\text{int},i} - \theta_e) = 0,34 \cdot \dot{V}_i \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_e) = 0,34 \cdot n_{\text{min}} V_i \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_e)$$

$$\Phi_{V,i} = 0,34 \cdot 0,5 \cdot 43,2 \cdot (20 - (-12)) = 235 \text{ W}$$

Návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru:

$$\Phi_{\text{HL},i} = \Phi_{\text{T},i} + \Phi_{\text{V},i} + \Phi_{\text{RH},i}$$

$$\Phi_{\text{HL},i} = 609 + 235 + 0 = 844 \text{ W}$$

Výpočty pro ostatní místnosti byly provedeny pomocí programu TechCON, jehož výstupem je tabulka (Tab. 44) s tepelnými ztrátami a návrhovým tepelným výkonem každé jednotlivé místnosti a také celého domu.

Jak je možné vidět, hodnoty vypočítané ručně v příkladu, jsou téměř shodné s hodnotami, které vypočítal program TechCON, případné odchylky jsou v řádu jednotek a mohou být způsobeny zaokrouhlováním při ručním počítání.

Tab. 44: Tepelné ztráty a tepelný výkon objektu před rekonstrukcí

č.m.	Místnost	$H_{\text{T},ie}$ [W/K]	$H_{\text{T},iue}$ [W/K]	$H_{\text{T},ij}$ [W/K]	$H_{\text{T},ig}$ [W/K]	$\Phi_{\text{V},i}$ [W]	$\Phi_{\text{T},i}$ [W]	$\Phi_{\text{HL},i}$ [W]
1.01	Předsíň	16,9	1,9	-3,1	0,0	99	421	521
1.02	Chodba	1,0	1,4	-1,8	0,0	97	19	117
1.03	Koupelna	0,0	0,9	5,2	0,0	207	218	425
1.04	Pokoj	8,4	0,9	0,8	0,0	87	360	447
1.05	Kuchyně	6,3	0,5	-1,0	2,0	511	249	760
1.06	Ložnice	12,6	3,5	-1,4	0,0	145	469	614
1.07	Pokoj	15,3	0,7	-0,4	3,5	235	609	844
1.08	Obývací pokoj	20,1	1,2	-0,2	5,8	423	861	1284
2.01	Schodiště	3,6	1,2	-0,3	0,0	60	143	203
2.02	Jídelna s KK	9,8	1,4	-0,4	0,0	408	343	751
2.03	Obývací pokoj	6,4	3,6	-1,4	0,0	277	274	552
2.04	Pokoj	11,4	3,5	0,0	0,0	250	477	727
2.05	Koupelna	2,1	0,9	1,6	0,0	220	166	386
Celkem						3022	4609	7631

Výsledkem pro objekt po rekonstrukci jsou tepelné ztráty větráním a prostupem tepla:

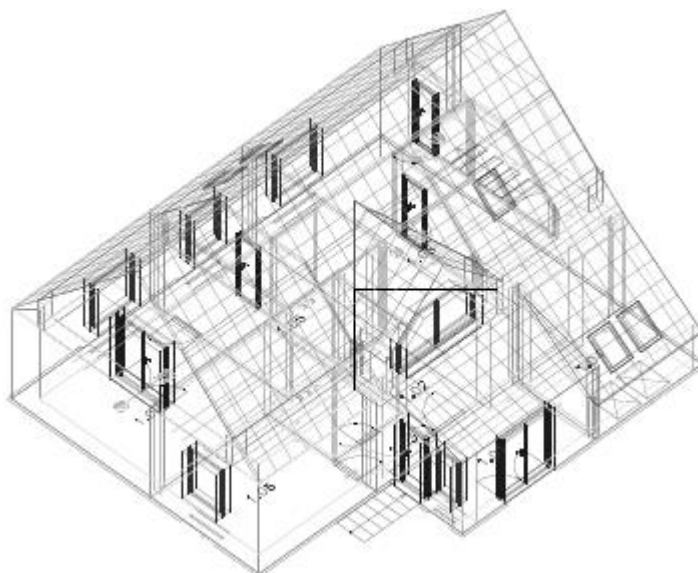
$$\Phi_V = 3022 \text{ W}$$

$$\Phi_T = 4609 \text{ W}$$

Jelikož není v objektu navrženo přerušované vytápění, je celkový tepelný výkon:

$$\Phi_{\text{HL}} = 7631 \text{ W}$$

Obrázek (Obr. 15) je ukázkou grafického provedení řešeného objektu v prostředí programu TechCON a jeho modulu „Tepelné ztráty“. Program TechCON tedy nemá pouze tabulkové výstupy, ale projekt je vytvářen přímo v 3D prostředí se zadanými parametry konstrukcí, místností, podlaží a také lokalitou.



*Obr. 15: Grafický výstup programu TechCON*

## 9.4 Tepelná stabilita

Tepelná stabilita místností se vyhodnocuje pro zimní a letní období. Zimní stabilita je v případě použití přerušovaného vytápění dána dovoleným poklesem teploty v místnosti. V daném objektu se uvažuje nepřetržité vytápění, proto není třeba zimní období řešit.

V letním období je tepelná stabilita místností dána nejvyšším denním vzestupem teploty. Podle normy ČSN 73 0540-2 je požadavek na nejvyšší denní teplotu vzduchu v místnosti určenou k pobytu lidí 27 °C.

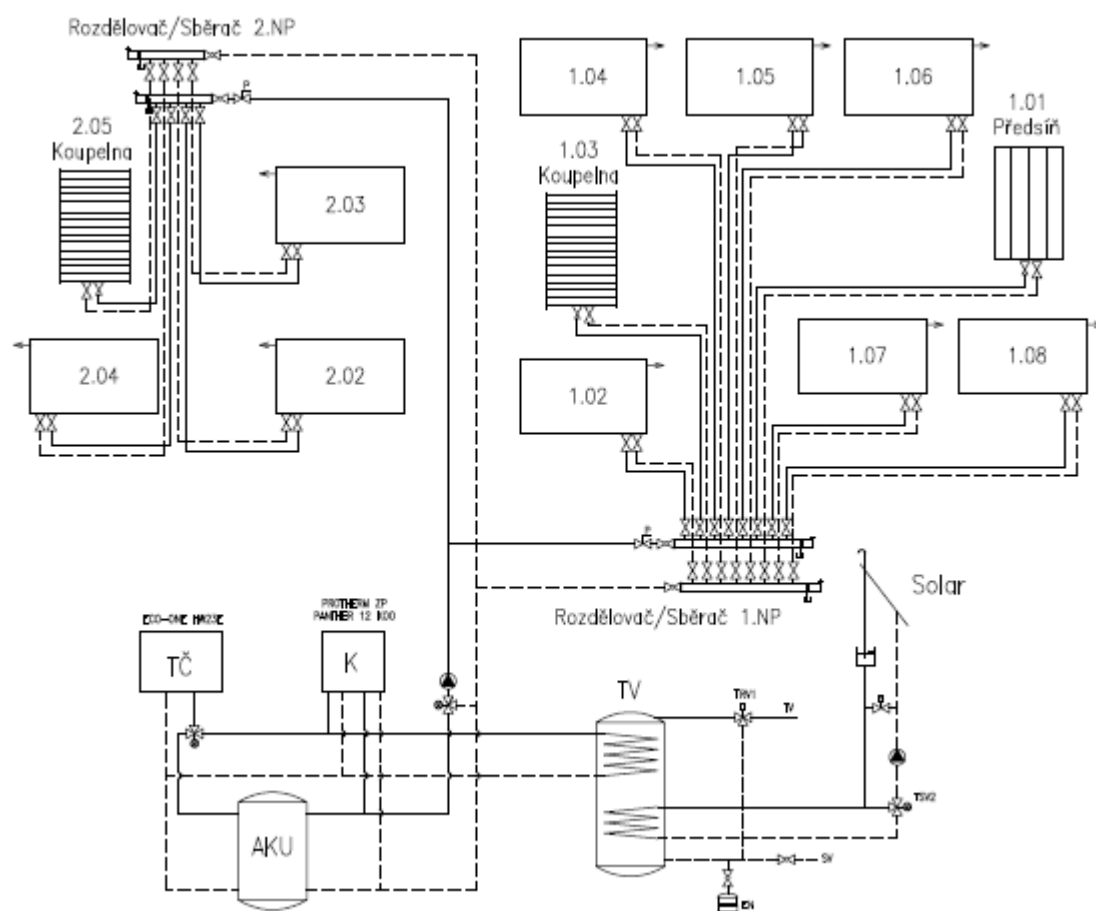
Kritická místnost v domě je pokoj v 2. nadzemním podlaží (2.04), která má balkonové dveře orientované na JZ. Pomocí programu Simulace bylo zjištěno, že při stávajícím vybavení bez krytí okna by docházelo k přehřívání místnosti.

Problém přehřívání místnosti by musel být řešen klimatizačním zařízením, nebo instalací vnějších okenních rolet. V daném případě bylo použito vnějších okenních rolet, se kterými byly výsledky mnohem příznivější. Výsledkem byla teplota  $\theta_{i,max} = 27,01$  °C, která je hraniční. Majitel domu ovšem souhlasí s využitím rolet a možným překročením teploty. Norma zde dovoluje po souhlasu investora krátkodobě až 29 °C.

## 10 TEPELNÁ SOUSTAVA

Tepelná soustava, která bude dále v práci řešena a počítána, vychází ze zjednodušeného schématu (Obr. 16). Soustava obsahuje tři zdroje tepla – tepelné čerpadlo (TČ), kotel na zemní plyn (K) a solární kolektory (Solar). Dále je součástí soustavy akumulční nádrž (AKU) a nepřímo ohříváný zásobník teplé vody (TV).

V rámci otopné soustavy je otopná voda stoupačkami, pomocí čerpadla, rozváděna do dvou rozdělovačů, kdy je navržen právě jeden na podlaží. Z rozdělovačů je poté otopná voda rozváděna k otopným tělesům, přičemž každé z nich je zapojeno na jeden samostatný vývod rozvaděče a sběrače, tj. otopná tělesa jsou zapojena do hvězdy, pomocí plastového vícevrstvého potrubí Pex/Al/Pex.



Obr. 16: Výchozí schéma tepelné soustavy

### 10.1 Otopná soustava

V následujících podkapitolách se text zaměří na základní volbu otopných těles, přepočet jejich tepelných výkonů, vyvážení tlaků a výpočet jednoduché ekvitemní křivky.

Otopná soustava bude navržena s využitím teplovodního topení s tradičními radiátory, příp. trubkovými otopnými tělesy. Důvodem je především dosavadní kladná zkušenost s tímto typem vytápění. Teplovodní podlahové vytápění by bylo v daném případě nejen finančně, ale i stavebně náročné.

### 10.1.1 Otopná tělesa

Použitá otopná tělesa jsou od výrobce Korado. Desková otopná tělesa pro většinu místností jsou vybírány z řady Radik VK s integrovanou termoregulační vložkou a šroubením, v koupelnách a předsíni jsou to trubková a designová otopná tělesa Koratherm či Koralux.

Při výběru je nutné znát maximální teplotu otopné vody a teplotní spád soustavy, také je potřeba ověřit použitelné rozměry. Rozměry by měly být navrženy tak, aby délka tělesa byla alespoň stejná, jako je šířka okna, pod kterým je těleso umístěno.

Otopná soustava je navržena na teplotní spád 50/40 °C a pro něj jsou také vybrána otopná tělesa pomocí interaktivní pomůcky, která je k dispozici webu firmy Korado. Typy těles pro jednotlivé místnosti s jejich výkony a potřebným dodatečným zdrojem jsou uvedeny v tabulce (Tab. 45). Dodatečné zdroje jsou použity v koupelnách, jedná se o elektrickou patronu 300 W v tělesech Koralux KLCE a elektrické podlahové vytápění.

Tab. 45: Vybraná otopná tělesa

č.m.	$\Phi_{HL,i}$ [W]	Otopná tělesa	OT výška [mm]	OT délka [mm]	OT Výkon [W]
1.1	521	KORATHERM V10KM	1600	588	571
1.2	117	Radik VK 10	500	1100	225
1.3	425	KLCE 1220.600	1220	600	208
1.4	447	Radik VK 22	500	1600	909
1.5	760	Radik VK 22	500	1400	796
1.6	614	Radik VK 21	500	1400	615
1.7	844	Radik VK 22	500	1600	909
1.8	1284	Radik VK 22	500	1600	909
2.1	203	-	-	-	-
2.2	751	Radik VK 21	400	2000	739
2.3	552	Radik VK 11	400	2000	562
2.4	727	Radik VK 22	600	1200	788
2.5	386	KLCE 900.600	1220	600	152
Celkem	7631				7922

### 10.1.2 Vyvážení otopné soustavy

Po návrhu otopných těles je nutné navrhnout jejich správné tlakové vyvážení, aby došlo k rovnoměrnému rozdělení otopné vody a tím také výkonu.

Otopná tělesa Radik VK mají integrované termoregulační vložky (TRV) s šesti stupni přednastavení. Jemnou regulaci je poté možné provést pomocí regulačního šroubení na přívodu tělesa. V případě těles Koralux a Koratherm je regulace prováděna na navržených termostatických ventilech a regulačním šroubení.

Obecně se postupuje od nejvzdálenějšího tělesa, u kterého se předpokládá nejvyšší tlaková ztráta. Další tělesa se poté regulují tak, aby se dispoziční tlaky vyrovnaly právě s tímto výchozím tělesem. Stejný postup platí i pro další části otopných soustav.

Následující tabulky (Tab. 46 a Tab. 47) představují nastavení na vyrovnání dispozičního tlaku pomocí integrovaných TRV. Dispoziční tlak je dorovnáván podle okruhů s  $p_{\text{disp,max}}$ .

Tab. 46: Dispoziční tlaky otopných těles v 1.NP

Okruh	Místnost	m [kg/h]	w [m/s]	R·l [Pa]	Z [Pa]	$\Delta p_{\text{OT}}$ [Pa]	$\Delta p_{\text{RV}}$ [Pa]	$\Delta p_{\text{RŠ}}$ [Pa]	$p_{\text{disp}}$ [Pa]
1	1.1	49,2	0,122	537	11	390	950	145	2033
2	1.2	19,7	0,049	20	5	7	545	1363	1940
3	1.3	17,8	0,044	41	4	5	1657	317	2024
4	<b>1.4</b>	79,5	0,145	597	122	49	913	354	2035
5	1.5	69,5	0,172	521	63	38	698	711	2031
6	1.6	53,7	0,133	396	38	22	817	723	1996
7	1.7	79,5	0,145	379	122	49	913	552	2016
8	1.8	79,5	0,145	469	122	49	913	479	2031

Tab. 47: Dispoziční tlaky otopných těles v 2.NP

Okruh	Místnost	m [kg/h]	w [m/s]	R·l [Pa]	Z [Pa]	$\Delta p_{\text{OT}}$ [Pa]	$\Delta p_{\text{RV}}$ [Pa]	$\Delta p_{\text{RŠ}}$ [Pa]	$p_{\text{disp}}$ [Pa]
9	2.2	64,6	0,160	338	55	32	836	351	1612
10	2.3	49,1	0,122	290	32	45	484	770	1621
11	2.4	68,8	0,171	577	62	37	949	0	1625
12	2.5	17,8	0,044	47	1	5	125	1409	1588

Po vyrovnání dispozičních tlaků mezi jednotlivými otopnými tělesy pomocí integrovaných termoregulačních ventilů (TRV) a regulačního šroubení je na řadě vyrovnání dispozičního tlaku na stoupačkách mezi první a druhý podlažím, tj. mezi rozdělovači/sběrači.

Bylo potřeba najít vhodný ventil podle hodnoty průtokového součinitele  $K_{\text{VS}}$ .

Požadovaná hodnota  $K_v$  pro 1.NP vycházela z hodnoty průtoku  $\dot{V} = 0,453 \text{ kW}$  a tlakové ztráty okruhu  $p_{\text{disp}} = 3700 \text{ Pa}$ :

$$K_{v,1NP} = \dot{V} \sqrt{\frac{\Delta p_0}{\Delta p_v}} = 0,453 \sqrt{\frac{100}{3,7}} = 2,35 \text{ m}^3/\text{h}$$

2.NP vycházelo z hodnot průtoku  $\dot{V} = 0,202 \text{ kW}$  a tlakové ztráty okruhu  $p_{\text{disp}} = 4469 \text{ Pa}$ :

$$K_v = \dot{V} \sqrt{\frac{\Delta p_0}{\Delta p_v}} = 0,202 \sqrt{\frac{100}{4,469}} = 0,96 \text{ m}^3/\text{h}$$

Byly zvoleny regulační ventily Danfoss USV-I s hodnotami  $K_{vs} = 2,5$  a  $1,6 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Poslední ventil, který je potřeba navrhnout, je trojcestný směšovací ventil na stoupačce (TSV). Při jeho výpočtu se vycházelo z hodnoty dispozičního tlaku na stoupačce včetně všech částí a armatur  $p_{\text{disp}} = 8533 \text{ Pa}$ .

$$K_v = \dot{V} \sqrt{\frac{\Delta p_0}{\Delta p_v}} = 0,655 \sqrt{\frac{100}{8,53}} = 2,24 \text{ m}^3/\text{h}$$

Zvolený TSV má hodnotu  $K_{vs} = 3 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Skutečné tlakové ztráty ventilů:

$$\Delta p_{v,1NP} = \left( \frac{\dot{V}}{K_{vs}} \right)^2 = \left( \frac{0,453}{2,5} \right)^2 = 328,1 \text{ mbar} = 3281 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{v,2NP} = \left( \frac{\dot{V}}{K_{vs}} \right)^2 = \left( \frac{0,202}{1,6} \right)^2 = 159,9 \text{ mbar} = 1599 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{v,\text{stoup}} = \left( \frac{\dot{V}}{K_{vs}} \right)^2 = \left( \frac{0,655}{3} \right)^2 = 476,9 \text{ mbar} = 4769 \text{ Pa}$$

Ověření vhodnosti ventilů pomocí autority ventilu (doporučeno 0,3 až 0,5):

$$P_{v,1NP} = \frac{\Delta p_{v100}}{\Delta p_{v0}} = \frac{3281}{6980} = 0,47$$

$$P_{v,2NP} = \frac{\Delta p_{v100}}{\Delta p_{v0}} = \frac{1599}{6067} = 0,26$$

$$P_{v,\text{stoup}} = \frac{\Delta p_{v100}}{\Delta p_{v0}} = \frac{4769}{13302} = 0,36$$

### 10.1.3 Ekvitermní křivka a přepočet tepelného výkonu

Otopná tělesa nebudou provozována stále s teplotním spádem 50/40 °C, což by vedlo ke zbytečným tepelným ztrátám na rozvodech i nízké hodnotě COP. Pro úsporu je vhodné, aby se teplota otopné vody měnila v závislosti na vnějších podmínkách, podle ekvitermní křivky. Pro takový případ je vhodné použít také přepočet tepelného výkonu otopných těles.

#### Přepočet tepelného výkonu otopných těles

Přepočet závisí na hodnotě teplotního podílového součinitele  $c$ , který lze stanovit vztahem:

$$c = \frac{\theta_2 - \theta_i}{\theta_1 - \theta_i} \quad (127)$$

$$c \geq 0,7 \rightarrow Q = Q_N \cdot \left( \frac{\Delta\theta}{\Delta\theta_N} \right)^n \quad (128)$$

$$c < 0,7 \rightarrow Q = Q_N \cdot \left( \frac{\Delta\theta_{\ln}}{\Delta\theta_{N,\ln}} \right)^n \quad (129)$$

$$\Delta\theta = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} - \theta_i \quad \Delta\theta_{\ln} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln(1/c)} \quad (130)$$

kde  $\theta_1, \theta_2$  je teplota přívodní a vratné vody, ve °C;

$\theta_i$  vnitřní výpočtová teplota, ve °C;

$Q_N$  nominální výkon otopného tělesa, ve W;

$Q$  přepočítaný tepelný výkon otopného tělesa, ve W;

$\Delta\theta$  aritmetický rozdíl teplot, ve °C;

$\Delta\theta_{\ln}$  logaritmický rozdíl teplot, ve °C;

$n$  teplotní exponent, udáván výrobcem.

#### Ekvitermní křivka

Ekvitermní křivka vyjadřuje závislost teploty otopné vody v koncovém zařízení na vnější teplotě, čímž může pomoci udržet konstantní vnitřní teploty při měnící se venkovní teplotě. Ekvitermní regulace komplexnějších systémů je řešena nejen na základě vnější teploty, ale také vnitřní teploty. Moderní zařízení pro vytápění mají schopnost nastavenou ekvitermní křivku měnit v závislosti na nastavených a reálně zjištěných hodnotách.

Střední teplotu teplotonosné látky  $\theta_m$ , ve °C, lze stanovit pomocí vztahu:

$$\theta_m = \theta_i + \left( \frac{\theta_{1,\max} + \theta_{2,\max}}{2} - \theta_i \right) \left( \frac{\theta_{e,i} - \theta_i}{\theta_e - \theta_i} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (131)$$

Ochlazení teplotonosné látky  $\Delta\theta$ , ve  $^{\circ}\text{C}$ , kterým lze určit teplotu přívodní vody  $\theta_1$ , ve  $^{\circ}\text{C}$ , se vypočítá pomocí vztahu:

$$\Delta\theta = (\theta_{1,\max} + \theta_{2,\max}) \cdot \frac{\theta_e - \theta_i}{\theta_{e,\min} - \theta_i} \quad (132)$$

kde  $\theta_{1,\max}$  je nejvyšší výstupní teplota otopné vody, ve  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\theta_{2,\max}$  nejvyšší teplota vratky, ve  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\theta_{e,i}$  vnější teplota pro danou dobu, ve  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\theta_e$  návrhová vnější teplota, ve  $^{\circ}\text{C}$ ;

$n$  teplotní exponent tělesa, udává výrobce.

Výpočet střední teploty je proveden pro osm různých vnějších teplot. Pro příklad je bráno  $\theta_e = 0^{\circ}\text{C}$ ,  $\theta_i = 20^{\circ}\text{C}$ , spád  $50/40^{\circ}\text{C}$ , výkon těles  $Q_N = 7922\text{ W}$  a  $n = 1,31$ .

- hodnoty ekvitemní křivky (otopné vody):

$$\theta_m = 20 + \left( \frac{50 + 40}{2} - 20 \right) \left( \frac{0 - 20}{-12 - 20} \right)^{\frac{1}{1,31}} = 37,5^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\theta = (50 + 40) \cdot \frac{0 - 20}{(-12) - 20} = 6,3^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_{1,2} = 37,6 \pm \frac{6,3}{2} \rightarrow \theta_1 = 40,6^{\circ}\text{C}; \quad \theta_2 = 34,3^{\circ}\text{C}$$

- hodnoty tepelného výkonu otopných těles při nových parametrech:

$$c = \frac{\theta_2 - \theta_i}{\theta_1 - \theta_i} = \frac{34,4 - 20}{40,7 - 20} = 0,697 < 0,7$$

$$\Delta\theta_{\ln} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1 - \theta_i}{\theta_2 - \theta_i}} = \frac{\Delta\theta}{\ln \frac{1}{c}} = \frac{6,3}{\ln \frac{1}{0,697}} = 17,29^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\theta_{N,\ln} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1 - \theta_i}{\theta_2 - \theta_i}} = \frac{10}{\ln \frac{50 - 20}{40 - 20}} = 24,66^{\circ}\text{C}$$

$$Q = Q_N \cdot \left( \frac{\Delta\theta_{\ln}}{\Delta\theta_{N,\ln}} \right)^n = 7922 \cdot \left( \frac{17,29}{24,66} \right)^{1,31} = 4969\text{ W}$$

Kontrolou, zda je tepelný výkon postačující, poslouží výpočet tepelné ztráty domu při dané vnější teplotě, který lze zjednodušeně spočítat pomocí tepelné ztráty a návrhových teplot:

$$Q_{ztr} = \frac{\Phi_{HL}}{\theta_i - \theta_e} \cdot (\theta_i - \theta_{e,i}) = \frac{7631}{20 - (-12)} \cdot (20 - 0) = 4769\text{ W}$$

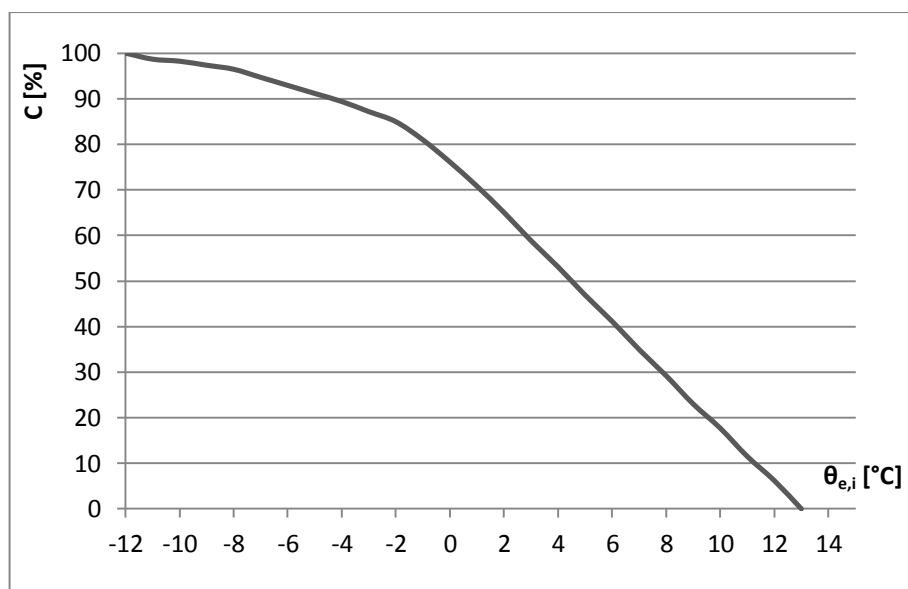
Ostatní body ekvitemní křivky jsou uvedeny v tabulce (Tab. 48):

Tab. 48: Hodnoty ekvitemní křivky

$\theta_{e,i}$ [°C]	$\theta_m$ [°C]	$\Delta\theta$ [°C]	$\theta_1$ [°C]	$\theta_2$ [°C]	$c$ [–]	$\Delta\theta_{ln}$ [°C]	$Q$ [kW]
13	27,9	2,2	28,9	26,8	0,755	7,85	1,764
7	32,6	4,1	34,6	30,6	0,722	12,58	3,276
2	36,1	5,6	38,9	33,3	0,703	16,13	4,536
0	37,5	6,3	40,6	34,3	0,697	17,29	4,969
-2	38,8	6,9	42,2	35,4	0,691	18,58	5,463
-7	42,0	8,4	46,2	37,7	0,678	21,69	6,694
-10	43,8	9,4	48,5	39,1	0,671	23,49	7,431
-12	45,0	10,0	50,0	40,0	0,667	24,66	7,922

#### 10.1.4 Průběh teplot v otopném období

Návrh ekvitemní křivky a dále také vyhodnocení bodu bivalence tepelného čerpadla úzce souvisí s průběhem teplot v otopném období. Průběh odpovídá křivce v grafu (Obr. 17) a hodnotám v tabulce (Tab. 49), kde je uveden počet dní trvání a procentuální vyjádření.



Obr. 17: Grafický průběh teplot v otopném období

Tab. 49: Výskyt teplot v otopném období

Teploty do	[°C]	-9	-5	0	5	10	13
Výskyt teplot	[%]	3	9	24	53	82	100
Trvání teplot	[dny]	6	20	54	120	186	226

## 10.2 Zdroje tepla

Pro řešení objektu rodinného domu byly zvoleny tři zdroje tepla. Pro vytápění i přípravu teplé vody je vybráno tepelné čerpadlo vzduch-voda a kotel na zemní plyn. Příprava teplé vody má ještě vlastní třetí zdroj, kterým je systém solárních kolektorů.

### 10.2.1 Tepelné čerpadlo

Hlavním zdrojem tepla pro vytápění je tepelné čerpadlo vzduchu-voda od firmy Mitsubishi Electric ve splitovém provedení, tj. s oddělenou vnitřní a vnější jednotkou:

- venkovní jednotka: Power Inverter New Generation UHZ-SW75VHA
- vnitřní jednotka: Ecodan Next Generation EHSC-YM9E-B

#### Venkovní jednotka UHZ-SW75VHA

Venkovní jednotka je určena pro monovalentní i bivalentní provoz, přičemž rozsah použití je garantován od teploty venkovního vzduchu  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$  s výstupní teplotou vody až  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , bez nutnosti použití elektrického dohřevu.

Jednotky Power Inverter vynikají schopností udržet svůj výkon v širokém spektru teplot. TČ je schopno regulovat svůj výkon v závislosti na vnější teplotě a požadovaném výkonu. Regulace výkonu má za následek mnohem lepší hodnoty COP, jak je možné vyčíst z tabulky (Tab. 50), kde jsou uvedeny hodnoty pro A2/W40 až W60 a A-7/W40 až W55.

Tabulka je dále rozdělena na maximální, nominální, střední a minimální výkon jednotky.

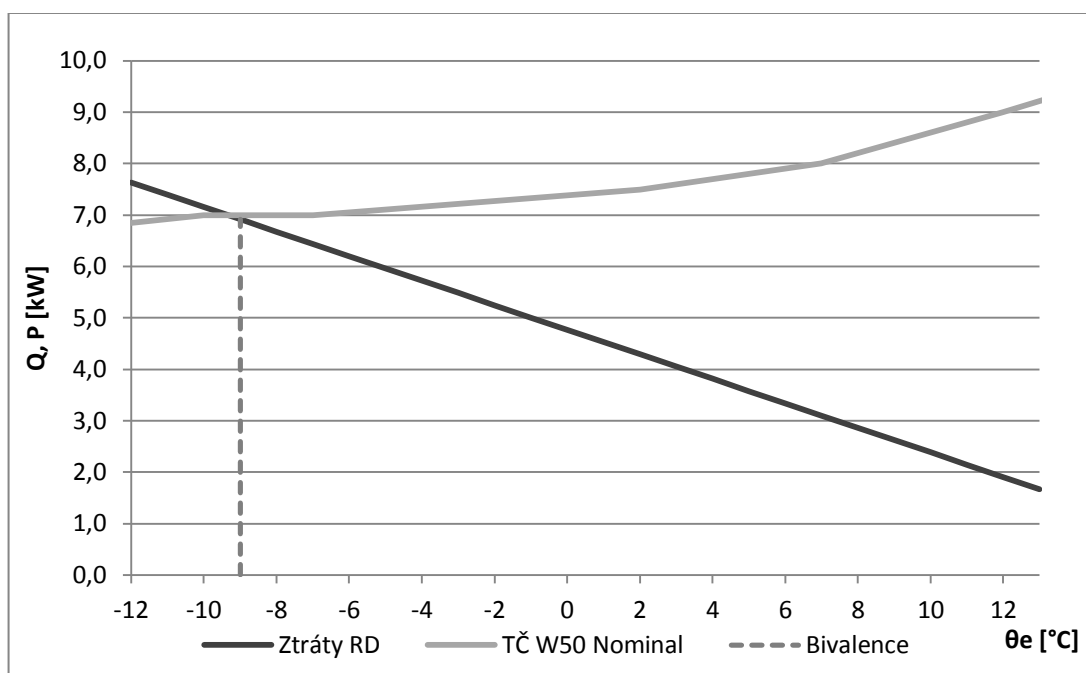
Tab. 50: Výkonové parametry tepelného čerpadla

Podmínky		A2/W40	A2/W45	A2/W50	A2/W60	A-7/W40	A-7/W45	A-7/W50	A-7/W55
Max	P [kW]	8,94	8,29	7,72	6,57	8,64	8,32	7,66	7,00
	COP	2,60	2,37	2,15	1,65	2,33	2,05	1,89	1,71
Nom	P [kW]	7,50	7,50	7,50	6,57	7,00	7,00	7,00	7,00
	COP	3,11	2,83	2,37	1,65	2,55	2,20	1,96	1,71
Med	P [kW]	6,00	6,00	6,00	5,71	5,60	5,60	5,60	5,60
	COP	3,21	2,87	2,54	2,18	2,59	2,24	2,01	1,77
Min	P [kW]	3,77	3,58	3,41	3,24	4,40	4,19	4,00	3,80
	COP	3,30	2,95	2,61	2,25	2,52	2,18	1,96	1,73

Na základě uvedených výkonových parametrů a tepelných ztrát objektu byl stanoven bod bivalence při teplotě  $\theta_B = -9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tepelné čerpadlo je při této teplotě schopno pracovat v nominálním pracovním režimu s výkonem až 7 kW a hodnotou COP 1,83. Tepelné ztráty objektu jsou 6,9 kW. Při nižších teplotách je zapnut bivalentní zdroj, kotel na ZP.

Dříve byl uveden průběh teplot v otopném období, z něj lze zjistit, že bivalentní zdroj by měl být v provozu cca jen 6 dní za celou otopnou sezónu.

Grafické vyjádření stanovení bodu bivalence je vyobrazeno v obrázku dále (Obr. 18). Znázorněn je výkon TČ při výstupní teplotě vody 50 °C, která je i maximální teplotou otopné vody, bod bivalence a tepelné ztráty objektu.



Obr. 18: Bod bivalence

### Vnitřní jednotka EHSC-YM9E-B

Jednotka v provedení bez zásobníku teplé vody. Součástí je kompletní regulace a ovládání, oběhového čerpadla, záložního zdroje 9 kW, filtru a pojišťovacího setu. Jednotka nabízí kompletní regulaci a uživatelsky přívětivé ovládání pro nastavení vytápění, teploty teplé vody, bazénové vody, nebo chlazení. Pro přístup je možné využít vzdálené správy.

Součástí jsou již součásti: výměník, řídicí jednotka, oběhové čerpadlo, záložní zdroj 9 kW, filtr, odvzdušnění, expanzní nádobu o objemu 10 litrů a pojistný ventil s otevíracím tlakem 0,3 MPa. S těmito údaji je vhodné počítat při dalších návrzích.

### Akumulační nádrž

Vnitřní jednotka je napojena na akumulaci (taktovací) nádrž a také na soustavu přípravy teplé vody. Objem akumulaci nádrže se obecně doporučuje jako 10 až 20 násobek výkonu tepelného čerpadla. Pro daný případ je spodní hranice 75 l. Vybrána byla akumulaci nádrž DZD UKV 102 o objemu 100 l.

### 10.2.2 Kotel na zemní plyn

Systém vytápění a přípravy teplé vody bude vybaven mimo tepelné čerpadlo také záložním zdrojem, kotlem na ZP, který je navržen tak, aby pokryl potřebu tepla v době, kdy klesne venkovní teplota pod  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Při nižší teplotě není tepelné čerpadlo schopno dodat potřebný výkon pro vytápění. Pro přípravu teplé vody je TČ schopno pracovat až do teploty  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ovšem s výstupní teplotou vody do  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Byl vybrán závěsný plynový kotel s atmosférickým hořákem Panther v.19 KOO, který má výstup pro otopnou vodu i pro nepřímý ohřev vody v externím zásobníku teplé vody. Typ KOO je v provedení s odvodem spalín do komína a plynulou regulací od 3,4 do 12,4 kW.

Součástí kotle je třicestý směšovací ventil pro vytápění a přípravu TV, oběhové čerpadlo, pojistný ventil 0,3 MPa, odvzdušnění a také expanzní nádobu o objemu 7 litrů.

#### Ekonomické zhodnocení

Při práci bylo řešeno, zda se vyplatí instalovat kondenzační kotel na zemní plyn s vyšší účinností, nebo spoléhat na levnější standardní kotle. Byl proveden zjednodušený výpočet prosté doby návratnosti, která byla východiskem pro volbu zařízení.

Udávaná účinnost kotle je 89,9 %, kondenzační kotle v podobném provedení mohou mít účinnost až 105 %, jejich cena je ovšem cca o 10 000 Kč vyšší. V navrhovaném systému, při vycházení z průběhů teplot v otopném období, je potřeba bivalentní zdroj pouze 6 dní.

Zjednodušeně by se dala prostá doba návratnosti investice do kondenzačního kotle spočítat následujícím způsobem:

- |                                 |                                  |
|---------------------------------|----------------------------------|
| - potřeba tepla pro přípravu TV | $Q_{TV} = 21\text{ kWh/den}$     |
| - tepelná ztráta objektu        | $\Phi_{HL} = 7,4\text{ kWh/den}$ |
| - cena ZP (předpoklad)          | 1,4 Kč/kWh                       |
| - počet dní (zvýšeno o 4 dny)   | $d = 10\text{ dní}$              |
| - zvýšení účinnosti kotle       | $\Delta\eta = 15\text{ \%}$      |

$$Q = d \cdot (Q_{TV} + Q_{TOP}) = 10 \cdot (21 + 24 \cdot 7,4) = 1986\text{ kWh/rok}$$

$$\Delta Q = \Delta\eta \cdot Q = 0,15 \cdot 1986 = 298\text{ kWh/rok}$$

$$T_s = \frac{\text{investice}}{\text{výnos}} = \frac{10000}{298 \cdot 1,4} \cong 24\text{ let}$$

I při nadhodnocení ceny ZP a zvýšení počtu dnů se v systému kondenzační kotel nevyplatí.

### 10.3 Příprava teplé vody

Výpočty pro přípravu teplé vody vyžadují několik vstupních parametrů:

- potřeba teplé vody podle ČSN 06 0320  $V_{2P} = 82 \text{ l}/(\text{os} \cdot \text{den})$
- teplo odebrané z ohřívače  $Q_{2t} = 4,3 \text{ kWh}/(\text{os} \cdot \text{den})$
- ztráty přípravou a vedením  $z = 0,2$
- počet uživatelů v domácnosti  $n = 4$

Teplo odebrané z ohřívače TV během periody:

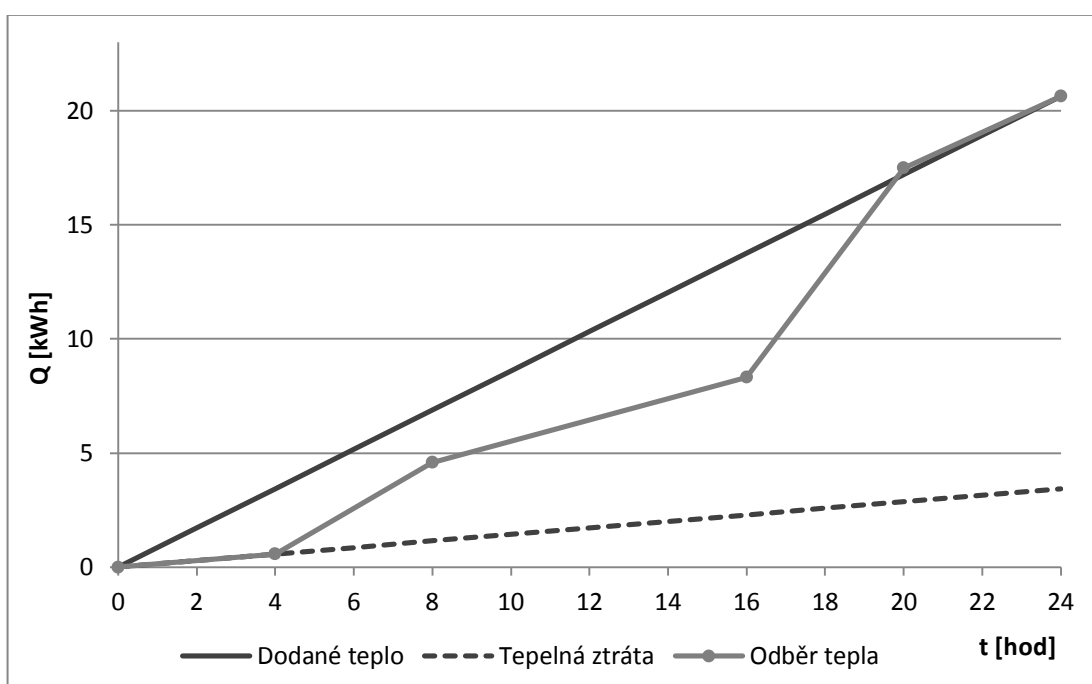
$$Q_{2P} = n \cdot (Q_{2t} + Q_{2z}) = n \cdot (Q_{2t} + z \cdot Q_{2z}) = n \cdot (1 + z) \cdot Q_{2z}$$

$$Q_{2P} = 4 \cdot (1 + 0,2) \cdot 4,3 = 20,64 \text{ kWh}$$

Tab. 51: Profil využití teplé vody během dne

Čas	Využití [%]	Teplo [kWh]
do 4:00	0	0,00
4:00 až 8:00	20	3,44
8:00 až 16:00	15	2,58
16:00 až 20:00	50	8,60
od 20:00	15	2,58

Nyní lze pomocí tabulky (Tab. 51) sestavit křivky průběhu dodávek a odběru tepla.



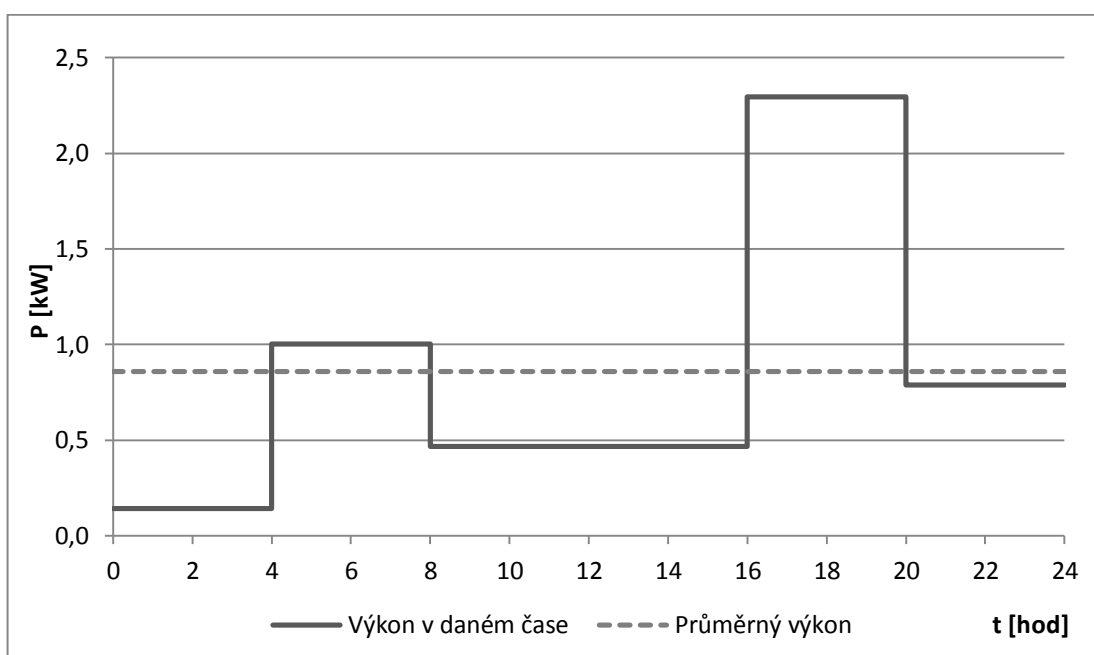
Obr. 19: Křivky průběhu dodávek a odběru tepla

Velikosti zásobníku se určí pomocí maximálního rozdílu mezi křivkou dodávky a odběru:

$$V_z = \frac{\Delta Q_{\max}}{c \cdot (\theta_2 - \theta_1)} = \frac{5,45}{1,163 \cdot (55 - 10)} = 0,104 \text{ m}^3$$

Minimální velikost zásobníku TV by měla být 104 l.

Při znalosti odběru tepla v daných intervalech je možné určit také okamžitý výkon zdroje, který je ovšem pro zásobníkový ohřev pouze pomyslný. Zásobníkový ohřev je představen průměrným výkonem zdroje, který připraví zásobu TV na odběrové špičky v době nízké potřeby teplé vody. V obrázku (Obr. 20) je možné vidět způsob pokrytí potřeby tepla.



Obr. 20: Výkon zdroje pro přípravu teplé vody

Tepelný výkon pro ohřev se zásobníkem:

$$\Phi_{\text{ln}} = \left( \frac{Q_1}{t} \right)_{\max} = \frac{20,64}{24} = 860 \text{ W}$$

Výpočty byly zjištěny parametry a minimální požadavky na systém přípravy teplé vody:

- zdroj tepla o výkonu 860 W;
- potřeba tepla 20,64 kWh/den;
- minimální velikost zásobníku 104 litrů.

Zdrojem tepla pro přípravu teplé vody pomocí výměníků bude tepelné čerpadlo, kotel na zemní plyn i solární soustava. Solární soustava bude mít vliv na výsledný výběr zásobníku.

## 10.4 Solární soustava

Jak bylo v teoretické části práce vysvětleno, výsledek návrhu solární soustavy je určení potřebné plochy solárních kolektorů. Plocha se stanovuje pro referenční den období, kdy je požadováno pokrytí tepla soustavou. V daném případě se jedná o měsíce duben a září.

### 10.4.1 Výpočty pro návrh solární soustavy

Výpočet plochy kolektorů je proveden pro měsíc duben (index 4) a září (index 9). Uvažují se solární kolektory Regulus KPG1-ALC, které mají následující základní parametry:

- optická účinnost  $\eta_o = 0,794$
- lineární součinitel tepelné ztráty  $a_1 = 3,639 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- kvadratický součinitel  $a_2 = 0,0168 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- plocha absorbéru  $A = 2,309 \text{ m}^2$
- doporučený průtok  $\dot{V} = 60 \div 120 \text{ l/h}$

Pozn.: další hodnoty ve výpočtech byly získány z příloh v topenářské příručce 3 [15].

Skutečná denní dávka ozáření plochy:

$$H_{T,\text{den}} = \tau_t \cdot H_{T,\text{den,teor}} + (1 - \tau_t) \cdot H_{T,\text{den,dif}}$$

$$H_{T,\text{den},4} = 0,39 \cdot 7,13 + (1 - 0,39) \cdot 1,12 = 3,464 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{den})$$

$$H_{T,\text{den},9} = 0,50 \cdot 6,34 + (1 - 0,50) \cdot 0,97 = 3,655 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{den})$$

Průměrná denní účinnost:

$$\eta_k = \eta_o - a_1 \left( \frac{\theta_m - \theta_{es}}{G_{T,\text{stř}}} \right) - a_2 \frac{(\theta_m - \theta_{es})^2}{G_{T,\text{stř}}}$$

$$\eta_{k,4} = 0,794 - 3,639 \left( \frac{40 - 12}{525} \right) - 0,0168 \frac{(40 - 12)^2}{525} = 0,575$$

$$\eta_{k,9} = 0,794 - 3,639 \left( \frac{40 - 18,5}{510} \right) - 0,0168 \frac{(40 - 18,5)^2}{510} = 0,625$$

Měrný tepelný zisk z kolektorů:

$$q_k = \eta_k \cdot H_{T,\text{den}}$$

$$q_{k,4} = 0,575 \cdot 3,464 = 1,991 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{den})$$

$$q_{k,9} = 0,625 \cdot 3,655 = 2,286 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{den})$$

### 10.4.2 Příprava TV pomocí solární soustavy

Norma ČSN 06 0320 stanovuje pro bytové objekty spotřebu 82 l/(os·den). V práci je pro výpočet solárních kolektorů uvažována spotřeba 60 l/(os·den), která představuje podle praktických zkušeností vysoký standard. Zároveň nedochází k předimenzování soustavy. Součinitel ztrát je zde uvažován s hodnotou  $p = 0,15$ .

Denní potřeba tepla na přípravu teplé vody:

$$Q_{pc} = (1 + p) \cdot Q_{TV} = (1 + p) \cdot \frac{n \cdot V \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{3,6 \cdot 10^6}$$

$$Q_{pc} = (1 + 0,15) \cdot \frac{4 \cdot 60 \cdot 998 \cdot 4180 \cdot (60 - 15)}{3,6 \cdot 10^6} = 14,42 \text{ kWh/den}$$

Potřebná plocha solárních kolektorů:

$$A_k = \frac{Q_{pc}}{q_k} = \frac{(1 + p) \cdot Q_p}{\eta_k \cdot H_{T,den}}$$

$$A_{k,4} = \frac{Q_{pc}}{q_k} = \frac{14,42}{1,991} = 7,24 \text{ m}^2$$

$$A_{k,9} = \frac{Q_{pc}}{q_k} = \frac{14,42}{2,286} = 6,31 \text{ m}^2$$

Výsledná potřebná plocha kolektorů:

$$A_{k,c} = \frac{A_{k,4} + A_{k,9}}{2} = \frac{7,24 + 6,31}{2} = 6,78 \text{ m}^2$$

Počet kolektorů:

$$n = \frac{A_{k,c}}{A} = \frac{6,78}{2,309} = 2,94 \rightarrow 3 \text{ ks}$$

Navržená soustava bude podle výpočtů obsahovat 3 solární kolektory Regulus KPG1-ALC o celkové ploše absorberu 6,78 m<sup>2</sup>.

Systém je navržen jako otevřený, což znamená, že nemá tlakovou expanzní nádobu, ale pouze otevřenou expanzní nádrž. Tento systém není nutné plnit nemrznoucí kapalinou či jej vypouštět při mrazech. Je ovšem nutné zajistit, aby se systém po vypnutí sám vypustil do nádrže s vodou, která by měla být krytá, aby se do ní nedostávaly nečistoty.

Doporučený průtok kolektorovým polem se třemi kolektory v sérii je stanoven výrobcem na maximálně 360 l/hod s použitím měděného potrubí Cu 18x1 nebo DN16 kombiflex.

Oběhové čerpadlo bude umístěno v technické místnosti ve výšce 1,5 m. Dopravní výška je přibližně 5 m. Čerpadlo je zvoleno WEBERMAN W0202 25-60 s rozsahem průtoku 0,2 až 0,45 m<sup>3</sup>/h a výtlačnou výškou 6 m.

Pro solární soustavu a obecně přípravu teplé vody byl vybrán nepřímotopný ohřívač, OKC 200 NTRR, o objemu 200 l a dvěma výměníky. Objem splňuje výpočty pro přípravu TV.

### 10.5 Pojistný ventil

Tepelné čerpadlo i kotel na zemní plyn pojistné ventily již obsahují a jejich pracovní tlak je 0,3 MPa = 3 bar. Solární soustava je otevřená, proto nemusí být tímto zařízením vybavena.

Pojistný ventil je ovšem nutné navrhnout na zásobník teplé vody, který je ohříván všemi zdroji, ale není s nimi hydraulicky propojen. Pojistný ventil má být umístěn v pojistném místě, který je na výstupu zdroje tepla v délce dvacetinásobku průměru potrubí. U ohřívače teplé vody je možné pojistný ventil umístit i na přívodní potrubí spolu s expanzní nádobou.

Pojistný ventil pro zásobník TV byl vybrán IVAR.PV KB pro teplou vodu s otevíracím tlakem 6 bar a výtokovým součinitel  $\alpha_v = 0,565$ . Výkon zdroje uvažován  $Q_n = 12,4$  kW.

Minimální průřez sedla pojistného ventilu:

$$S_o = \frac{2 \cdot Q_n}{\alpha_v \sqrt{p_{ot}}} = \frac{2 \cdot 12,4}{0,565 \sqrt{600}} = 1,8 \text{ mm}^2$$

Vnitřní průměr pojistného potrubí:

$$d_v = 10 + 0,6 \sqrt{Q_p} = 10 + 0,6 \sqrt{12,4} = 12,1 \text{ mm}$$

Pojistný ventil IVAR.PV KB disponuje vnitřním průměrem  $d_v = 15$  mm a skutečným průřezem sedla ventilu  $S_o = 176 \text{ mm}^2$ . Průměr pojistného potrubí je platný také pro průměr expanzního potrubí, kde se uvažuje stejný výkon zdroje tepla.

### 10.6 Expanzní zařízení

Expanzní zařízení jsou v soustavě počítána zvlášť pro otopnou soustavu a zvlášť pro TV. Rozdělení výpočtu je z důvodů hydraulického oddělení soustav.

#### Expanzní zařízení pro otopnou soustavu

Pro výpočet je potřeba znát nejnižší provozní absolutní tlak:

$$p_d = 1,1 \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3} = 65 \text{ kPa}$$

Stupeň využití EN:

$$\eta = \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,A}}{p_{h,dov,A}} = \frac{300 - 65}{300 + 100} = 0,55$$

Objem expanzního zařízení:

$$V_e = 1,3 \cdot V_o \cdot n \cdot \frac{1}{\eta} = 1,3 \cdot 217 \cdot 0,01949 \cdot \frac{1}{0,555} = 10,0 \text{ l}$$

EN by měla mít minimálně 10 l, tento objem pokryjí EN, které jsou v jednotce tepelného čerpadla a v kotli na ZP, obě mají dohromady objem 17 l a jsou hydraulicky propojeny.

### Expanzní zařízení pro přípravu TV

Nejnižší provozní absolutní tlak

$$p_d = 1,1 \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3} = 76 \text{ kPa}$$

Stupeň využití EN:

$$\eta = \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,A}}{p_{h,dov,A}} = \frac{600 - 76}{600 + 100} = 0,743$$

Objem expanzního zařízení:

$$V_e = 1,3 \cdot V_o \cdot n \cdot \frac{1}{\eta} = 1,3 \cdot 220 \cdot 0,01949 \cdot \frac{1}{0,743} = 7,5 \text{ l}$$

Expanzní nádoba byla vybrána Regulus HW012 o objemu 12 litrů.

## 10.7 Podlahové vytápění

Při návrhu byla zvažována instalace teplovodního podlahového vytápění v koupelnách. Nakonec bylo zvoleno elektrické podlahové vytápění ve formě topných rohoží.

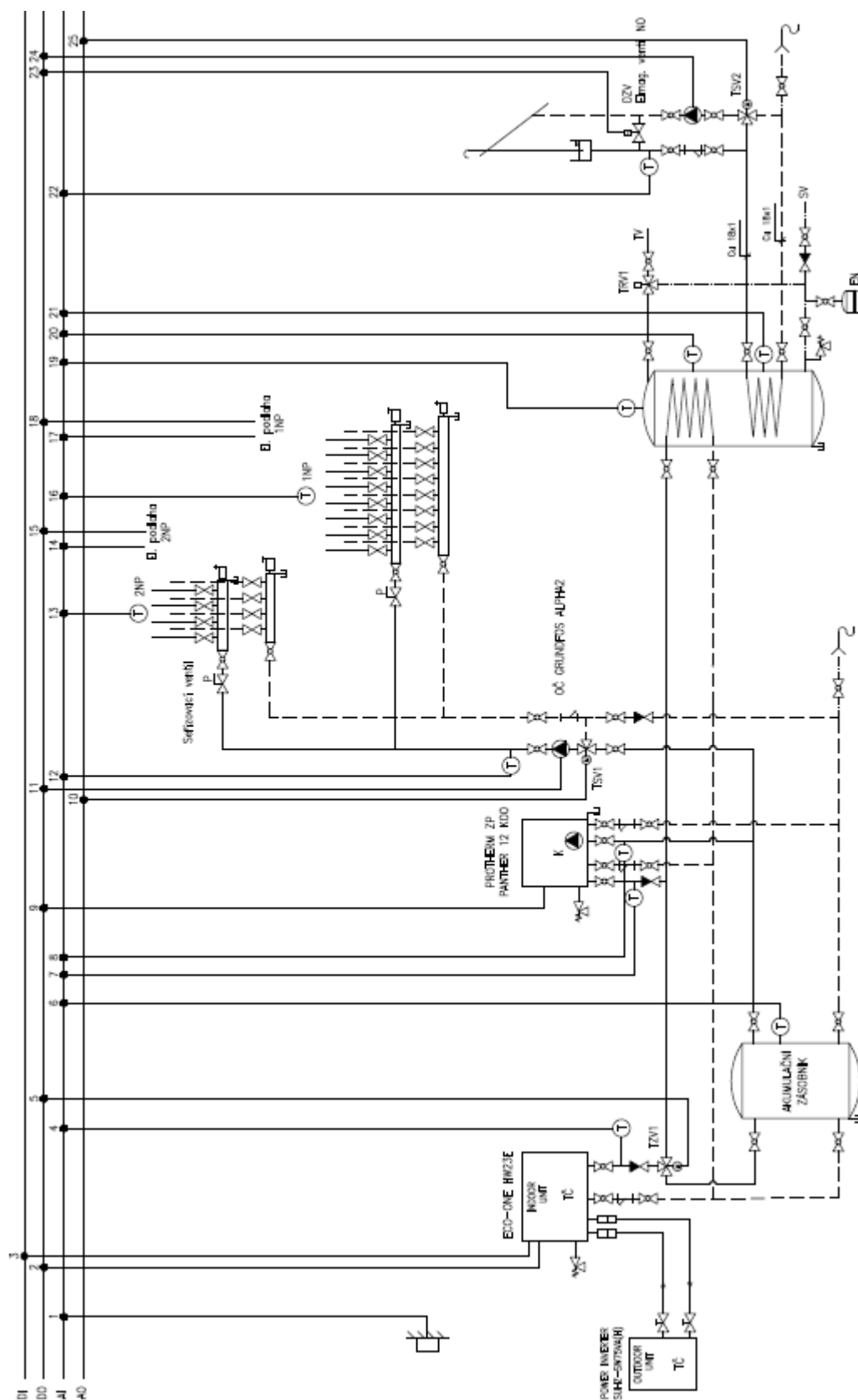
Teplovodní vytápění vyžaduje značné zvýšení stávající podlahy v 1.NP, to by znamenalo rozsáhlé stavební úpravy. V 2.NP není teplovodní vytápění vhodné z důvodu dřevěných stropů s nejistou nosností. Vyžadovalo by také finančně nákladné směšovací okruhy.

Elektrické vytápění má vyšší provozní náklady, které mohou být ovšem sníženy vhodnou regulací – temperování místnosti, ohřev podlahy přesně podle potřeb uživatele apod.

Vybrány byly topné rohože s výkonem  $160 \text{ W/m}^2$ , jež pokryjí i tepelné ztráty místností s menší užitnou plochou. Pro obě místnosti byly vybrány topné rohože o výkonu 410 W při ploše rohože  $2,6 \text{ m}^2$ .

## 10.8 Hydraulické zapojení

Zapojení soustavy a připojení řízení je provedeno podle následujícího schématu (Obr. 21):



Obr. 21: Hydraulické schéma tepelné soustavy s řízením

## 11 ŘÍZENÍ

Hlavní části tepelné soustavy v rámci technické místnosti jsou dvě nádrže (akumulační nádrž a nepřímo ohříváný zásobník TV) a tři zdroje (tepelné čerpadlo, kotel na ZP a solární kolektory). Nádrže a jejich zdroje jsou následující:

- akumulační (taktovací) nádrž:
  - tepelné čerpadlo;
- nepřímo ohříváný zásobník TV se dvěma výměníky:
  - tepelné čerpadlo;
  - kotel na ZP;
  - solární kolektory.

Pozn.: Následující text vychází ze schématu hydraulického zapojení s řízením (Obr. 21).

### 11.1 Příprava teplé vody

Ohřev vody je proveden tak, aby teplota vody v zásobníku byla v rozmezí 50 až 60 °C. Příprava TV je zajištěna pomocí nepřímotopného ohřevu vody pomocí dvou výměníků. Spodní výměník slouží, dle pokynů výrobce, k připojení solárních kolektorů a horní k připojení TČ vzduch-voda a kotle.

Zásobník je vybaven třemi teplotními čidly, první je v nejvyšší části, kde slouží k měření teploty TV na výstupu. Druhé měření probíhá u horního výměníku pro TČ a poslední, třetí, je u spodního výměníku solárních kolektorů. Další měření teploty související s přípravou TV je na výstupu TČ, kotle na zemní plyn (výstup okruhu „ohřev TV“) a okruhu solárních kolektorů na výstupu teplé vody.

#### 11.1.1 Solární kolektory

Solární kolektory jsou v provozu, je-li vnější teplota  $\theta_e \geq 5$  °C, při nižších teplotách by mohlo hrozit zamrzání a výkon by byl příliš nízký. Teplota vody v okruhu solárních kolektorů je měřena teplotním čidlem a porovnávána s teplotou vody ve spodní části zásobníku.

Je-li teplota vody ve spodní části zásobníku TV menší, je zásobník ohříván až na požadovanou teplotu, poté je solární systém odstaven. V případě, že teplota v zásobníku bude vyšší než teplota vody v solárním okruhu a zároveň nebude dosažena požadovaná teplota vody, je systém přizpůsoben tak, aby i při nižší intenzitě slunečního záření jej bylo možné využít. Toho je dosaženo pomocí cirkulace vody v okruhu solárních kolektorů.

Cirkulace je zajištěna pomocí trojcestného ventilu (TSV2), přičemž tato cirkulace vody v solárních kolektorech vede k jejímu ohřátí na vyšší teplotu, při dosažení vyšší teploty je teplá voda ventilem přepouštěna do výměníku v zásobníku TV.

Nebude-li vyšší teploty vody dosaženo ani při této cirkulaci po době 15 minut, je systém odstaven a další pokus bude opakován při dalším požadavku na ohřev TV. V případě, kdy jsou klimatické podmínky nepříznivé pro využití solárních kolektorů, je využito TČ. Také nebude solárních kolektorů využito v pozdních večerních a nočních hodinách.

V případě spuštění solárních kolektorů je zapnuto oběhové čerpadlo (OČ2) a uzavřen dvoucestný zónový ventil (DZV), který je proveden jako elektromagnetický ventil NO (Normal Open). Tento ventil je závislý na oběhovém čerpadle, když je OČ2 zapnuto, je do ventilu přivedeno napětí, které ventil uzavře. V případě vypnutí OČ2, tj. okruhu solárních kolektorů, je ventil bez napětí přenastaven do své výchozí polohy – „otevřeno“. Ventil zde slouží k vypuštění vody ze solárních kolektorů v době, kdy nejsou využívány.

### 11.1.2 Tepelné čerpadlo a kotel na zemní plyn

Druhý výměník v zásobníku TV je využíván tepelným čerpadlem a kotlem na zemní plyn. TČ i kotel při přípravě TV ohřívají jen vodu v zásobníku, nikoliv vodu v akumulární nádrži i celé otopné soustavě. Tento způsob zapojení šetří energii a je rychlejší.

Primární zdroj je TČ, které nepřímo ohřívá zásobník teplé vody na požadovanou teplotu v době, kdy je nemožné využít ohřev solárními kolektory. Pokud je teplota vody v horní části zásobníku pod požadovanou hodnotou, je pomocí trojcestného zónového ventilu (TZV1) otevřen okruh přípravy TV a současně uzavřen okruh TČ – otopná soustava.

Řízení přípravy TV při současném vytápění pomocí tepelného čerpadla je ponecháno na vnitřní jednotce TČ, která bude mít k dispozici údaje o teplotách akumulární nádrže i vody v zásobníku. Vnitřní jednotka dává přípravě TV přednost před vytápěním – při úspěšném dosažení požadované teploty TV dostává na nastavenou dobu přednost vytápění, po jejím uplynutí se přednost opět vrací na přípravu TV. V případě, kdy je ohřev TV příliš dlouhý, je po nastaveném čase přerušen a proběhne ohřev otopné vody a poté opět pokračuje v přípravě TV (např. při velkém odběru TV nebo v úsporném režimu „Eco“).

Přípravu TV při velmi nepříznivých klimatických podmínkách zajistí kotel na ZP, který se přepne do režimu „ohřev TV“. Zde není nutné řídit žádný trojcestný ventil, jelikož tento je

obsažen již v kotli, který jej také sám podle potřeby ovládá. Kotel dává ohřevu TV také přednost před vytápěním ZP, ale nemá časová nastavení a mění se priority.

Největší rozdíl při přípravě teplé vody pomocí tepelného čerpadla je v letním a zimním období. V letním období je TČ přídavným zdrojem tepla pro solární kolektory, přičemž dosahuje nejlepších hodnot COP i při teplotách výstupní vody až 60 °C. V zimě naopak hodnota COP klesá a potřeba využití roste. Teplota výstupní vody v zimě je 50 až 55 °C. Tyto teploty jsou zároveň využity i v otopné soustavě.

### 11.1.3 Termická dezinfekce

Funkce je potřebná u zásobníkových ohřevů TV proti mikroorganismům ve vodě (např. Legionella). Norma uvádí, že se má teplota TV zvýšit krátkodobě na 70 °C a více, ovšem bakterie se nemohou šířit již při 50 °C a více. Při 60 °C přežívají půl hodiny a při teplotách nad 65 °C dochází k jejich zneškodnění během 3 a méně minut. Výrobci svá zařízení na přípravu TV vybavují funkcí „anti-legionell“, která krátkodobě zvýší teplotu TV na 65 °C.

V navrhovaném systému bude termická dezinfekce zajištěna v letních měsících solárním systémem, který má schopnost dosáhnout i vyšších teplot než 65 °C a v zimních měsících, kdy nebude solární systém stačit, poslouží kotel na ZP. V případě vhodných podmínek lze využít i TČ, které má tuto funkci také výrobcem naprogramovanou. Zásobník TV je na výstupu opatřen termostatickým směšovacím ventilem pro omezení maximální teploty.

## 11.2 Vytápění

Zdrojem pro vytápění je tepelné čerpadlo a kotel na ZP, přičemž TČ je připojeno přes akumulární nádrž, na rozdíl od kotle, který je zapojen do soustavy tak, aby ohřál primárně opět jen potřebnou otopnou vodu v soustavě. Okruh otopných těles má společné oběhové čerpadlo (OČ1), které je schopno pracovat v režimu konstantních otáček, dispozičního tlaku, průtoku nebo v režimu *AUTOADAPT*, kdy si samo určí optimální pracovní bod.

Při vytápění TČ i kotlem na ZP není téměř možné dosáhnout přesně požadované hodnoty teploty otopné vody, která je stejná pro všechna otopná tělesa. Požadovanou teplotu lze dosáhnout pomocí trojcestného směšovacího ventilu (TSV1), který je řízen podle měření vnitřní a vnější teploty. Při potřebě vyšší teploty otopné vody se TSV1 nastaví tak, aby do otopných těles proudilo více ohřáté otopné vody, v opačném případě dochází ke směšování přívodu s vratkou. Měření teploty otopné vody probíhá na výstupu ze zdrojů, tj. TČ a kotle na ZP, a na přívodu stoupačky za čerpadlem a směšovacím ventilem.

V každém podlaží je jedna referenční místnost, ve které je instalován pokojový termostat měřící teplotu vzduchu. Vytápění je vypnuto až při dosažení požadované teploty vnitřního vzduchu v obou podlažích. Maximální teplotu vzduchu v jednotlivých místnostech upravují termoregulační ventily (TRV), které omezují průtoky jednotlivými otopnými tělesy.

Zvláštním případem jsou koupelny, které jsou vytápěny kombinovaně. Každá má jedno otopné těleso a elektrické přímotopné podlahové vytápění řízeno vlastním termostatem. Otopné těleso je navíc vybaveno i elektrickou patronou o výkonu 300 W. Oba zdroje lze tedy využít i v době, kdy je vytápění objektu vypnuto, a to nezávisle na sobě.

### 11.2.1 Tepelné čerpadlo

V případě příznivých klimatických podmínek, které jsou dány hodnotou COP a bodem bivalence, je využito k vytápění tepelné čerpadlo. Pro správnou funkci systému vytápění je nutné přenastavit trojcestný zónový ventil (TZV1) do režimu „vytápění“.

Tepelné čerpadlo získává z teplotních čidel potřebné informace o vnější a vnitřní teplotě, teplotě vody v akumulární nádrži a zásobníku TV. Při běhu TČ je ohřívána akumulární nádrž v závislosti na venkovní teplotě – lze považovat za jednoduchou ekvitermní regulaci, která šetří energii (nižší teplota otopné vody zvyšuje hodnotu COP, současně TČ snižuje svůj výkon a dále hodnotu COP vylepšuje). Řízení v závislosti na teplotě lze nastavit na hlavním panelu vnitřní jednotky nastavením tzv. redukční (ekvitermní) křivky.

Podle příručky s podrobnými informacemi je pro vybraný typ tepelného čerpadla potřebný minimální objem vody v soustavě 60 litrů. Soustava bez nádrže obsahuje cca 100 litrů. Akumulační nádrž by tedy v soustavě nemusela být, ale je navržena pro případy, jako je příprava TV (přednost před vytápěním), odstávka v době vysokého tarifu elektřiny apod. Také přispívá k prodloužení životnosti TČ, jelikož nedochází k častému spínání a vypínání.

### 11.2.2 Kotel na ZP

V případě nepříznivých klimatických podmínek, kdy je dosaženo bodu bivalence, dojde k přenesení úlohy vytápění na kotel na zemní plyn. Tepelné čerpadlo se v tu chvíli přepne do režimu „kotel“ a přestane dále ohřívát vodu.

Kotel má také dostupné informace o teplotě vnějšího i vnitřního vzduchu a otopné vody, podle kterých řídí svůj výkon a teplotu otopné vody podle nastavené ekvitermní křivky.

### 11.3 Technologie řízení

Pro řízení je třeba najít vhodnou technologii, která bude disponovat požadovaným počtem vstupů a výstupů tepelné soustavy. Požadavky na řízení jsou uvedeny v tabulce (Tab. 52). Přehledová tabulka obsahuje čísla jednotlivých vstupů a výstupů odpovídající uspořádání ve schématu (Obr. 21). Dále je určen typ vstupu/výstupu (I/O), připojené zařízení a funkce.

Pozn.: zda se jedná o vstup nebo výstup, je vztaženo k řídicí jednotce a jejím modulům.

Tab. 52: Technologie – I/O, zařízení a funkce

č. I/O	typ I/O	zařízení	funkce
1	AI	Čidlo venkovní teploty	monitorování
2	DO	Tepelné čerpadlo	řízení
3	DI	Tepelné čerpadlo	monitorování
4	AI	Čidlo teploty	monitorování
5	DO	Trojcestný zónový ventil	řízení
6	AI	Čidlo teploty	monitorování
7	AI	Čidlo teploty	monitorování
8	AI	Čidlo teploty	monitorování
9	DO	Kotel na ZP	řízení
10	AO	Trojcestný směšovací ventil	řízení
11	DO	Čerpadlo	řízení
12	AI	Čidlo teploty	monitorování
13	AI	Čidlo teploty	monitorování
14	AI	Čidlo teploty	monitorování
15	DO	Spínač el. topení	řízení
16	AI	Čidlo teploty	monitorování
17	AI	Čidlo teploty	monitorování
18	DO	Spínač el. topení	řízení
19	AI	Čidlo teploty	monitorování
20	AI	Čidlo teploty	monitorování
21	AI	Čidlo teploty	monitorování
22	AI	Čidlo teploty	monitorování
23	DO	Dvoucestný zónový ventil NO	řízení
24	DO	Čerpadlo	řízení
25	AO	Trojcestný směšovací ventil	řízení

Celkem je tedy potřeba zajistit řídicí systém, který bude disponovat:

- 1x DI – digitální vstup;
- 8x DO – digitální výstup;
- 14x AI – analogový vstup;
- 2x AO – analogový výstup

### 11.3.1 Moduly řízení tepelné soustavy

Následující text se bude zabývat moduly řízení, které se vztahují k tepelné soustavě. Řízení další elektroinstalace v objektu bude řešena v kapitole sběrnice elektroinstalace.

Tepelná soustava bude řízena vybranou základní jednotkou CP-1016 od české společnosti Teco a. s. Jedná se modulární programovatelný automat řady Tecomat Foxtrot. Jednotka využívá komunikační kanál s rozhraním CIB pro připojení externích periférií a systémové rozhraní TCL2 pro připojení rozšiřovacích modulů, které zvyšují počet I/O systému.

Jednotka CP-1016 v základním provedení bez dalších modulů obsahuje:

- 2x DI – 1x 230V AC, HSC – rychlý čítač;
- 12x DO – 10x relé a 2x triak;
- 13x AI – analogový vstup 12 bit;
- 2x AO – analogový výstup 0 až 10 V;
- mimo uvedené I/O jednotka dále disponuje rozhraním Ethernet, CIB a TCL2;

K realizaci řídicího systému tepelné soustavy je potřeba ještě jeden analogový vstup, který bude poskytnut sběrnice modulem binárních vstupů C-IB-1800M na sběrnici CIB. Tento modul bude součástí sběrnice instalace domu, přičemž potřebný analogový vstup bude využit pro čidlo venkovní teploty. Modul disponuje

- 8x AI – 16 bit;
- 2x AO – 0 až 10 V;
- systémové rozhraní TCL2.

Nevyužité vstupy a výstupy jednotky CP-1016 mohou být využity k budoucímu rozšíření soustavy o další měřicí a regulační prvky.

Modul CP-1016 lze využít jako samostatný systém jen pro řízení tepelné soustavy, nebo pro řízení celého sběrnice systému rodinného domu. V případě samostatného řízení soustavy postačí ve složení modulů CP-1016, rozšiřujícího modulu IT-1604 a napájecího zdroje. Jednotky by byly propojeny pomocí systémové sběrnice TCL2.

Použití jednotky CP-1016 pro kompletní řízení tepelné soustavy i elektroinstalace v domě je možné pomocí připojení externích zařízení přes sběrnici CIB. Externí zařízení pro CIB sběrnici lze vybírat z nabídky modelové řady CFox (sběrnice systém společnosti Teco, např. uvedený modul C-IB-1800M) nebo systému iNELS společnosti ELKO EP.

## 12 ELEKTROINSTALACE

### 12.1 Silnoproudá elektroinstalace

Hlavní připojení objektu k rozvodné elektrické síti nízkého napětí je u stávajícího řešení provedeno vzdušnou přípojkou přes hlavní jistič 3x 25A. Soustava v domě je typu TN-S, kde je oddělen nulový (N) a ochranný vodič (PE). Měřicí zařízení by mělo být obecně umístěno tak, aby bylo k dispozici z přístupného místa.

#### 12.1.1 Hlavní domovní vedení

Hlavní domovní vedení a jistič se dimenzuje na základě soudobého příkonu objektu, který předpokládá, že nebudou puštěny veškeré spotřebiče současně. Norma ČSN 33 2130 uvádí pro tento výpočet pojem soudobost  $\beta_n$ , která je závislá na počtu bytů v objektu.

Výpočtový proud objektu  $I_p$ , v A, lze stanovit jako:

$$I_p = \frac{1000 \cdot P_p}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} = \frac{1000 \cdot (\sum P_{bi} \cdot \beta_n)}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} \quad (133)$$

kde  $P_p$  je zatížení domovního vedení, v kW;

$\sum P_{bi}$  předpokládaný příkon všech bytů, v kW;

$\beta_n$  soudobost;

$U_s$  jmenovité sdružené napětí soustavy, ve V;

$\cos \varphi$  účinník spotřebičů.

Předpokládaný příkon všech zařízení je  $\sum P_{bi} = 21$  kW, výpočtový proud poté:

$$I_p = \frac{1000 \cdot (\sum P_{bi} \cdot \beta_n)}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} = \frac{1000 \cdot (21 \cdot 0,77)}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} = 25,9 \text{ A}$$

Hlavní domovní jistič je zvolen o velikosti 3x 32A s vedením průměru 16 mm<sup>2</sup>. Soustava před rozdělením na TN-S je typu 3PEN 400/230V AC 50 Hz TN-C.

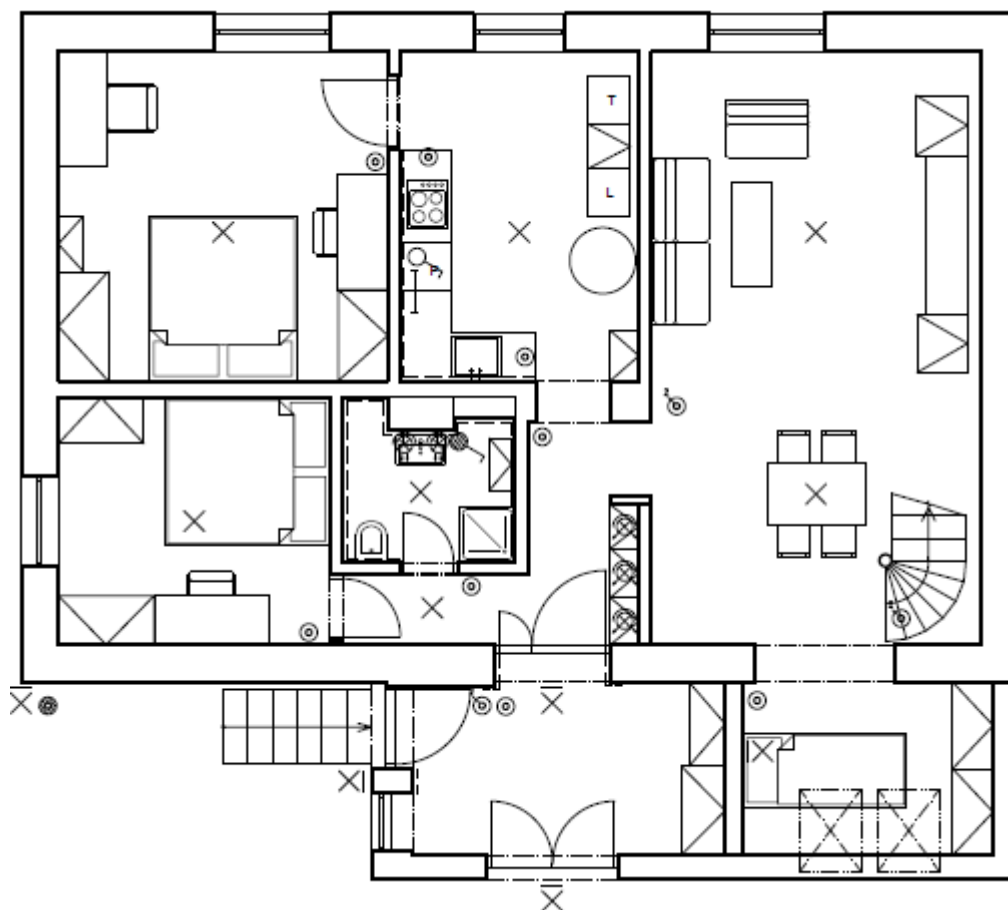
#### 12.1.2 Světelné okruhy

Na jeden světelný obvod lze připojit tolik svítidel, aby součet jejich jmenovitých proudů nepřekročil jmenovitý proud jisticího prvku.

Spínače světelných okruhů by měly být umístěny u dveří na straně kliky ve výšce 120 cm od podlahy. Vedení světelných obvodů se jistí jističi nebo pojistkami s proudem do 25 A.

Obrázek (Obr. 22) představuje rozložení světelných okruhů v 1. NP. Vzhledem k velikosti výkresů je zde vložen jen výkres 1. NP jako ukázkový. Výkres 2. NP je součástí kapitoly sběrníkové elektroinstalace.

Místo standardních vypínačů jsou použita tlačítka (výjma místních osvětlení v kuchyni a koupelně), která budou funkčně napojena na sběrníkový systém (popsán v další části).



Obr. 22: Světelné okruhy 1. NP

### 12.1.3 Zásuvkové okruhy

Na zásuvkové obvody lze pevně připojit jednoúčelové spotřebiče pro krátkodobé použití do celkového příkonu  $2 \text{ kV}\cdot\text{A}$ . Pro dlouhodobě napájené spotřebiče se zřizují samostatné zásuvkové obvody. Zásuvky se volí podle napětí a proudové soustavy. Na jeden zásuvkový obvod lze připojit maximálně deset zásuvkových vývodů o celkovém instalovaném výkonu do  $3680 \text{ V}\cdot\text{A}$  při jištění  $16 \text{ A}$  a  $2300 \text{ V}\cdot\text{A}$  při jištění  $10 \text{ A}$ . [36]

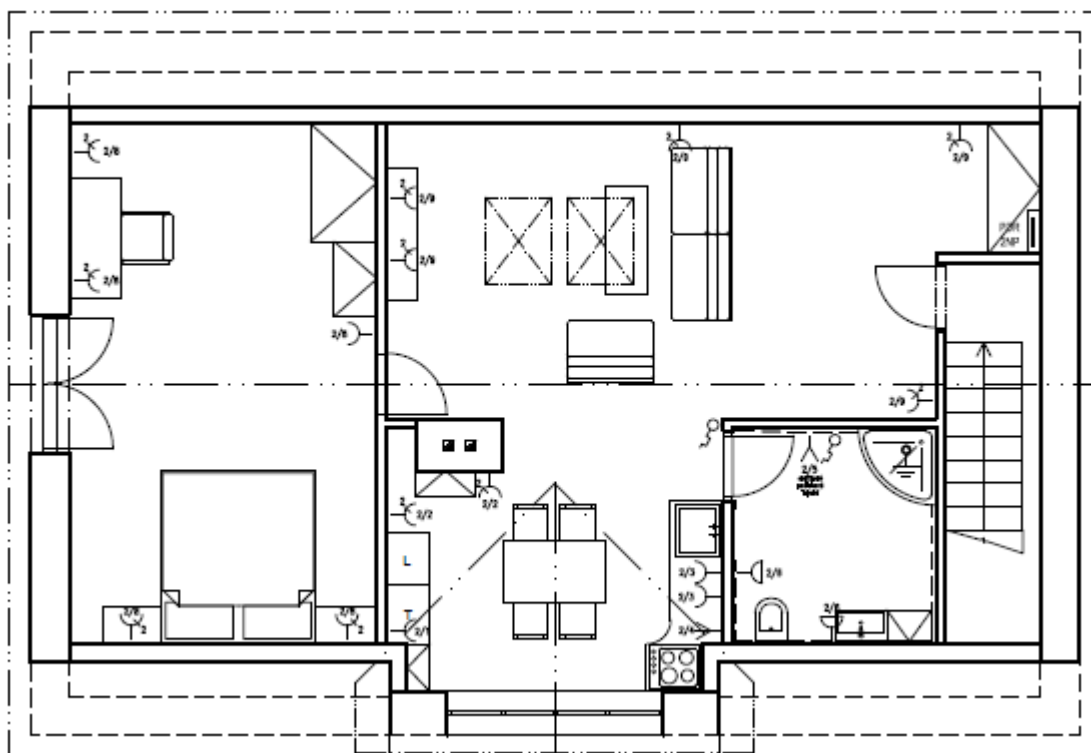
Zajímavostí je, že vícenásobná zásuvka se považuje jen za jeden zásuvkový vývod. Také několik zásuvek ve společném zásuvkovém obvodu ve společném vícenásobném rámečku se považuje za jeden zásuvkový vývod.

Zásuvkové obvody, zásuvky užívány laiky (bez elektrotechnické kvalifikace), určeny pro všeobecné použití, musejí mít doplňkovou ochranu proudovými chrániči se jmenovitým reziduálním proudem do 30 mA. Obvod s jističením vyšším než 32 A se doporučuje vybavit doplňkovou ochranou se jmenovitým reziduálním proudem 100 mA. [36]

Zvláštní případ tvoří koupelny a umývárny, kde je určeno několik zvláštních ustanovení:

- a) zásuvky a spínače mohou být pouze vně umývacího prostoru (prostor horizontálně vymezen šířkou umyvadla). Při minimálně 120 cm nad podlahou, mohou být prvky těsně u hranice umývacího prostoru. Jsou-li níže, musí být svým okrajem alespoň 20 cm od hranice umývacího prostoru;
- b) v umývacím prostoru lze prvky umístit jen tehdy, jsou-li součástí zařízení (zrcadlo, skříňka apod.) a bylo na ně vydáno prohlášení o shodě a v montážním návodu je výslovně uvedeno, že zařízení je určeno i do umývacího prostoru;
- c) krytí přístrojů a svítidel a provedení instalace musí odpovídat vlivům v místnosti;

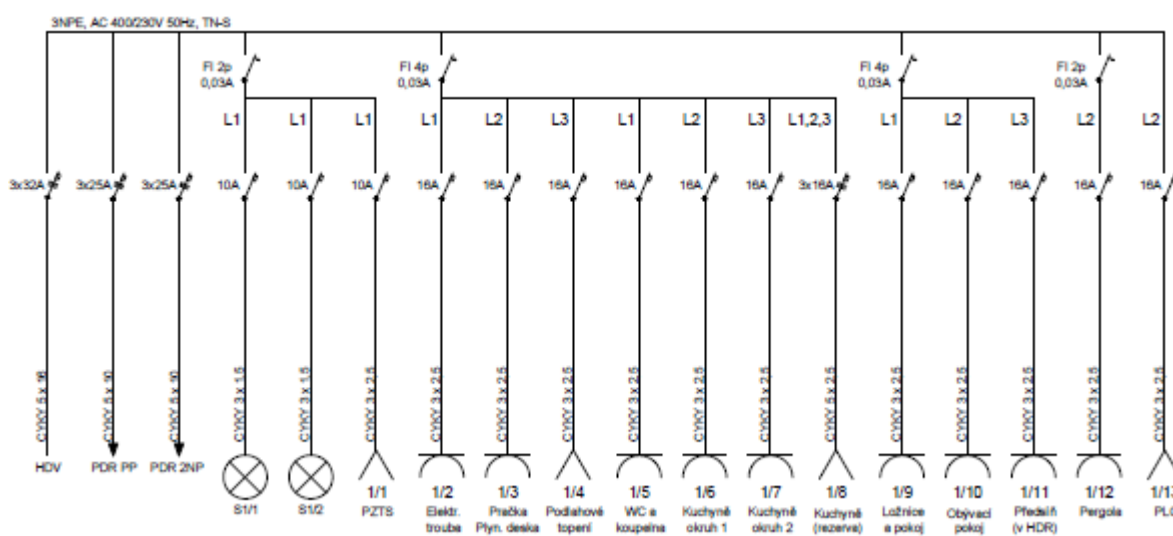
Navržené zásuvkové okruhy budou pro změnu vyobrazeny pro druhé nadzemní podlaží. Ostatní podlaží jsou součástí příloh práce. Rozmístění zásuvkových okruhů v 2. NP je dle uvedeného půdorysu (Obr. 23).



Obr. 23: Zásuvkové okruhy 2. NP

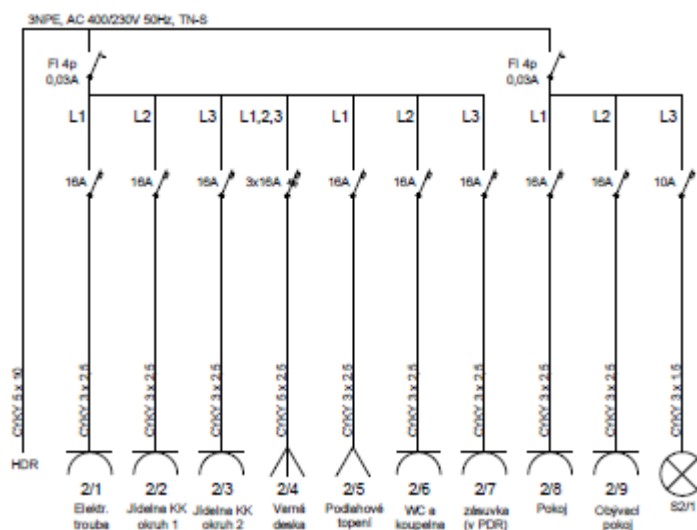
Každé podlaží obsahuje svůj vlastní rozvaděč, přičemž hlavní domovní rozvaděč (HDR) je umístěn v předsíni v 1. NP, ze kterého jsou vyvedeny přívody k podružným domovním rozvaděčům (PDR). Všechny rozvaděče mají snahu o rovnoměrné rozložení zatížení fází. Také je použito více proudových chráničů, které zamezí v případě poruchy odpojení více zařízení než je nutné.

Rozvaděč v 1. NP je schematicky vyobrazen na obrázku (Obr. 24). Obsahuje hlavní přívod 3x32A a dva vývody pro PDR 3x25A. Dále jsou použity dva čtyřpólové a dva dvoupólové proudové chrániče FI 30 mA. Zásuvkové okruhy jsou jištěny pomocí jističů 16A, světelné okruhy 10A a záložní vývod pro kuchyň 3x16A.



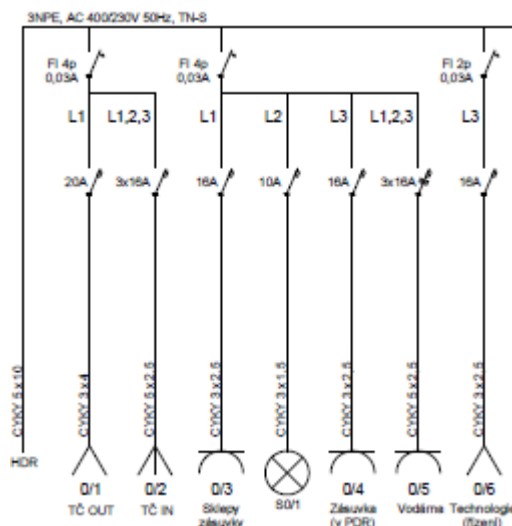
Obr. 24: Rozvaděč pro 1. NP

Podružný rozvaděč v 2.NP (Obr. 25) obsahuje dva čtyřpólové proudové chrániče FI 30mA.



Obr. 25: Podružný rozvaděč pro 2. NP

Podružný rozvaděč v PP (Obr. 26) obsahuje jeden dvoupólový a dva čtyřpólové proudové chrániče FI 30 mA. PDR obsahuje kromě standardních vývodů pro světelné a zásuvkové okruhy dva speciální vývody pro tepelné čerpadlo. Venkovní jednotka je připojena přes jistič 20A a vnitřní jednotka pomocí jističe 3x16A.



Obr. 26: Podružný rozvaděč pro PP

Následující tabulka (Tab. 53) obsahuje přehled použitých schématických značek světelných i zásuvkových okruhů. Zásuvky i spínače jsou zvoleny od firmy ABB typu TANGO s krytím IP20 pro vnitřní použití a IP44 pro použití vnější nebo ve vlhkých prostorech.

Tab. 53: Schématické značky elektrických okruhů

Schematická Značka	Zařízení
	Rozvaděč (PDR, HDR)
	Vývod pro svítidla (zářivka, stropní, na zeď, bodové)
	Tlačítka LOGUS (jednoduché/dvojitě), IP20
	Tlačítka LOGUS do vlhka (jednoduché/dvojitě), IP44
	Jednonásobná zásuvka TANGO, IP20
	Jednofázová zásuvka 230V/16A TANGO do vlhka, IP44
	Ochranné pospojování
	Dvojnásobná zásuvka TANGO, IP20
	Třífázová zásuvka 400V/16A se spínačem, do vlhka
	Spotřebičový vývod 230V
	Spotřebičový vývod 400V
	Čidlo venkovní teploty
	Prostorový termostat

## 12.2 Sběrnicevá elektroinstalace CIB

Pro řízení a monitorování integrovaných systémů v objektu byl zvolen sběrnicový systém CIB. Jedná se o centralizovaný systém, který vznikl spoluprací českých firem Teco a.s. a Elko EP. Základem je centrální jednotka na bázi PLC s dvoudrátovou sběrnicí CIB (Common Installation Bus), kde napájecí napětí a data jsou vedena společně.

CIB představuje sběrnicu určenou pro odolné a flexibilní připojení periferních modulů k základnímu modulu Foxtrot (modulární PLC Teco), nejčastěji pro oblast inteligentních domů a měření a regulace. Sběrnice CIB umožňuje připojit k systému Foxtrot sběrnicové moduly řady CFox určené pro oblast řízení budov, zdrojů a rozvodů tepla a VZT.

Sběrnice CIB využívá komunikaci namodulovanou na stejnosměrném napájecím napětí. Napájení je pomocí zdroje stejnosměrného napětí 27,7 V nebo 24 V připojený na sběrnicu přes interní oddělovací obvody nebo externí oddělovací modul. Sběrnice kromě vlastního přenosu dat umožňuje napájet připojené moduly. Maximální vzdálenost mastera od nejvzdálenější jednotky je omezeno na cca 500 m.

Sběrnice umožňuje libovolnou topologii (linie, hvězda, strom), ale nesmí být uzavřena do kruhu. Na jedné větvi může být maximálně 32 jednotek komunikující s centrální jednotkou metodou master-slave, přičemž sběrnicu lze rozšiřovat pomocí externích modulů master.

Pro instalaci sběrnice CIB lze použít libovolné dvou vodičové kabely. Doporučené kabely jsou s krouceným stíněným párem, např. J-Y(St)Y1x2x0,8.

Jelikož je sběrnice CIB společným produktem firem Teco a ELKO EP, je možné využít prvky od obou výrobců. Zde je vhodné podotknout rozpor obou firem, který vedl k vývoji dvou samostatných systémů. Jeden systém založen na sběrnicí CIB je iNELS třetí generace od firmy ELKO EP a druhý je systém CFox od společnosti Teco.

Z důvodu navržení systému řízení tepelné soustavy s řídicí jednotkou Teco CP-1016, bude tato využita i pro řízení celého domu.

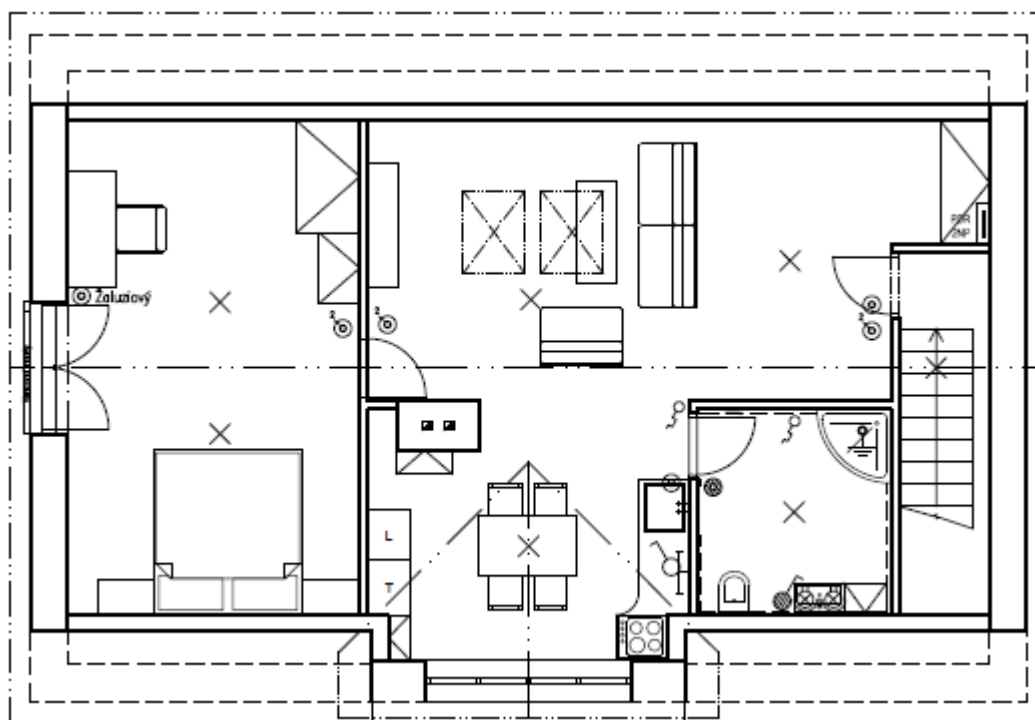
### 12.2.1 Návrh sběrnicové elektroinstalace

Řízení elektroinstalace v domě je možné rozdělit podle podlaží, přičemž podzemní podlaží je navrženo s klasickou silnoproudou elektroinstalací pro ovládání světelných okruhů. Je zde však umístěn systém tepelné soustavy, se kterou souvisí technologie měření a regulace. Veškeré funkce měření a regulace je možné pokrýt I/O centrální jednotky CP-1016.

Pro obě nadzemní podlaží je využito ovládání světelných okruhů pomocí jednoduchých či dvojitých tlačítek, která jsou napojena na modul binárních vstupů. Spínání silnoproudých obvodů je poté zajištěno moduly binárních (reléových) výstupů. Tato varianta instalace nevyužívá plného potenciálu sběrnicevého systému, ale je značně méně finančně nákladná, než použití tlačítek s vnitřní elektronikou. Výjimkou je zde použití klasických vypínačů pro místní osvětlení kuchyňské linky a skříňky v koupelně.

Mimo moduly binárních vstupů a výstupů jsou použity další aktory. V prvním i druhém podlaží budou použity stmívače pro osvětlení obývacích pokojů. Dále je navrženo i využití roletového aktoru, který bude použit pro venkovní elektrické rolety v druhém podlaží.

Vedení jednotlivých tlačítek, světelných okruhů a prostorových termostátů je svedeno do příslušných rozvaděčů a jejich umístění odpovídá rozmístění v půdoryse (Obr. 22), uvedeném v předchozí kapitole světelných okruhů a půdoryse (Obr. 27) vloženém dále.



*Obr. 27: Rozmístění prvků sběrnicevé elektroinstalace v 2. NP*

### 12.2.2 Prvky řídicího systému

Celý řídicí systém je složen z několika modulů na DIN lištu, které jsou vybrány tak, aby plnily požadovanou funkci (spínání, stmívání, měření apod.) a pokryly potřebný počet vstupů a výstupů. Součástí jsou také moduly, které jsou potřebné pro správnou funkci a bezpečnost samotné sběrnice. Použité moduly jsou uvedeny v tabulce (Tab. 54).

Tab. 54: Moduly řídicího systému domu

Modul	Označení	Počet	Charakteristika
Centrální jednotka	CP-1016	1	CPU+LCD, ETH, RS232, 1xCIB
Napájecí zdroj	DR-100-24	1	230VAC/24VDC, 4.2A
Akumulátor	BP-12V/18Ah ALG	1	12V/18Ah
Oddělovač sběrnice	C-BS-0001M	1	CIB oddělovač sběrnice, 1A
Přepět'ová ochrana	DTNVEM 1/CIB	1	Pro sběrnici CIB
Modul AI/DI	C-IB-1800M	2	4x AI/DI, 14xDI, 4M
Modul DO	C-OR-0011M-800	1	11x RO spínací kontakt, 230V/16A
Modul DO	C-OR-0008M	1	8x RO, spínací kontakt, 230V/16A
Žaluziový aktor	C-JC-0201B	1	2x RO závislé spínání, 230VAC/5A
Stmívač RLC	C-DM-0402M-RLC	2	2x stmívač RLC, 230V AC, 2x 500W

Centrální jednotka CP-1016 je základem pro modulární řídicí systém řady Foxtrot. Jeho I/O budou využity pro měření a regulaci tepelné soustavy. Řízení elektroinstalace v domě je poté řešena za pomoci externích modulů řady CFox. Parametrizace CP-1016 je možná pomocí prostředí FoxTool, příp. IDM (iNELS).

Podzemní podlaží i s technologiemi má požadavky na I/O sepsány v kapitole řízení. Na měření a regulaci tepelné soustavy postačí I/O, které jsou k dispozici na CP-1016:

- 2x DI            1x 230V/16A + 1x HSC;
- 12x DO        10x relé + 2x triak;
- 13x AI        12 bit, 0 až 10 V, AI0 – AI12 lze využít jako DI;
- 2x AO        10 bit, 0 až 10V.

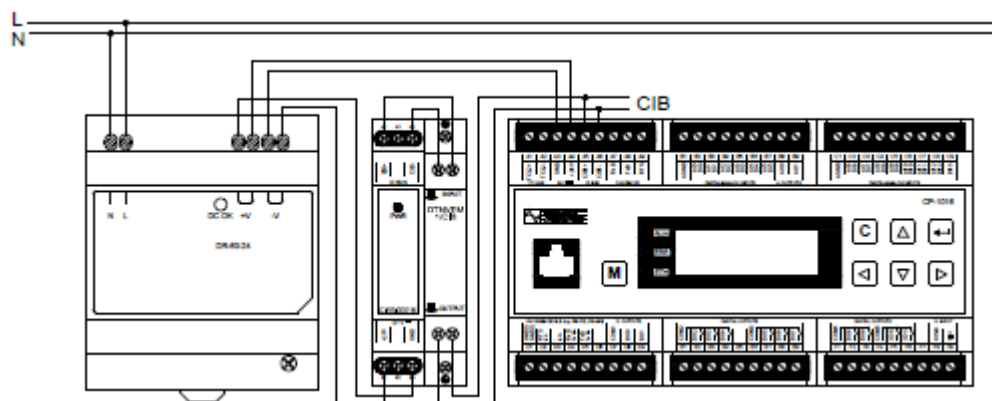
Řízení elektroinstalace v 1. NP podle návrhu vyžaduje 16x DI, 11x DO a jeden stmívací aktor na dva světelné vývody. Tyto požadavky jsou pokryty moduly:

- modul binárních vstupů    C-IB-1800M (18x DI - 14x DI + 4x AI/DI);
- modul binárních výstupů    C-OR-0011M-800 (11x DO – Relé 230V/16A);
- stmívač RLC                C-DM-0402M-RLC (2x stmívač RLC, 230V, 500W).

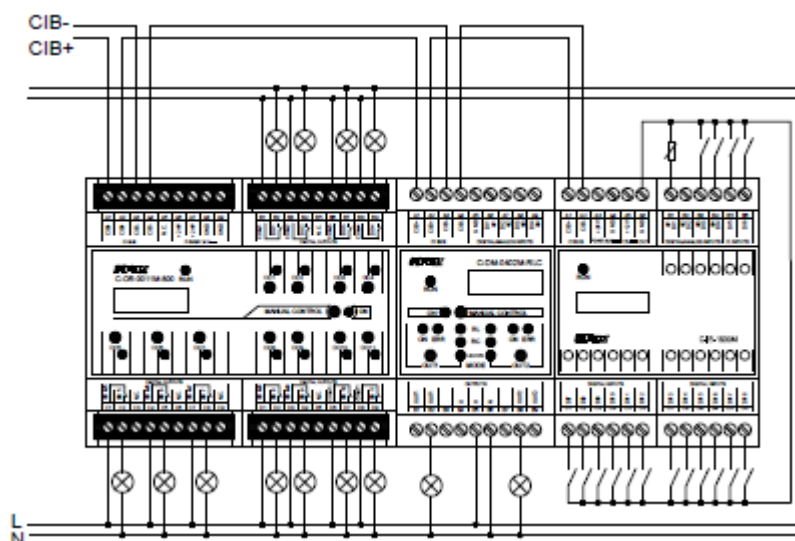
Řízení v 2. NP vyžaduje 11x DI, 5x DO, jeden stmívací aktor na dva světelné vývody a jeden modul pro ovládání rolet. Tyto požadavky jsou pokryty moduly:

- modul binárních vstupů    C-IB-1800M (18x DI - 14x DI + 4x AI/DI);
- modul binárních výstupů    C-OR-0008M (8x DO – Relé 230V/16A);
- stmívač RLC                C-DM-0402M-RLC (2x stmívač RLC, 230V, 500W);
- žaluziový aktor            C-JC-0201B (2x DO – závislé spínání, 230V/5A).

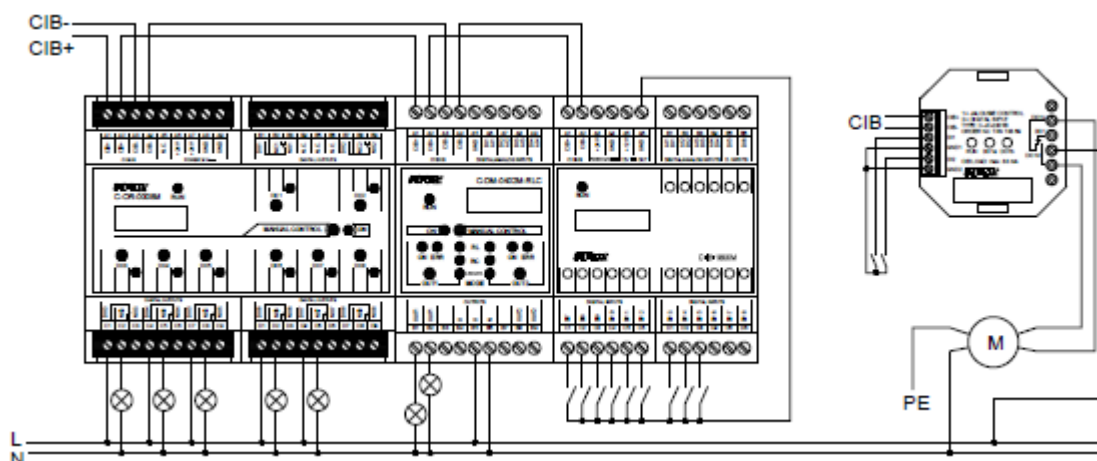
Následující obrázky (Obr. 28, Obr. 29 a Obr. 30) jsou ukázkou zapojení jednotlivých modulů. Fáze je ve skutečnosti vedena přes jističe. Hlavní jednotka CP-1016, napájecí zdroj, oddělovač a přepět'ová ochrana CIB sběrnice jsou jen v rámci vlastního zapojení. Zapojení jednotlivých prvků je uvedeno u modulů pro první a druhé nadzemní podlaží.



Obr. 28: Zapojení hlavní jednotky Teco CP-1016



Obr. 29: Zapojení modulů CFox pro 1. NP



Obr. 30: Zapojení modulů CFox pro 2. NP

### 12.3 PZTS

Součástí moderních domů je také instalování PZTS (poplachový zabezpečovací a tísňový systém – dříve EZS), příp. EPS (elektronický požární systém). V řešeném objektu bude navržen PZTS obsahující také prvky EPS.

Použitý PZTS je založen na ústředně Digiplex EVO192 od kanadské společnosti Paradox. Ústředna nabízí 192 zón a 5 PGM výstupů. Obsahuje funkci MULTIBUS, jež umožňuje upgrade firmware modulů na sběrnici. Ústřednu je možné použít jako přístupový systém.

Dále je k dispozici komunikační sběrnice BUS se čtyřmi vodiči. Dva vodiče jsou určeny k napájení a dva pro přenos dat. Na sběrnici lze umístit zařízení do maximálního počtu 256 a zároveň nesmí být připojeno více než 900 m sběrnice. Každý modul se hlásí na sběrnici pod svým SN číslem, které má přiděleno již ve výrobě.

V objektu budou použity sběrnicové i drátové prvky dle tabulky (Tab. 55).

Tab. 55: Prvky PZTS

Prvek	Typ	ks
PIR drátový detektor	NV500	4
PIR sběrnicový detektor	DGP2-50 DMI50	4
Požární detektor kombinovaný	SD168-AR	3
Klávesnice s LCD panelem	MG32LCD	1
GSM komunikátor	PCS250	1
Internetový TCP/IP komunikátor	IP100	1
Ústředna Digiplex EVO192	EVO192PCB	1
Magnetické kontakty	USP-1000	9
Sířena vnější s blikáčem	BELLA-3EU	1
Baterie 12Ah	TP12120	1
Sířena vnitřní s blikáčem	TS404	1
Instalační box s transformátorem	AWO105	1

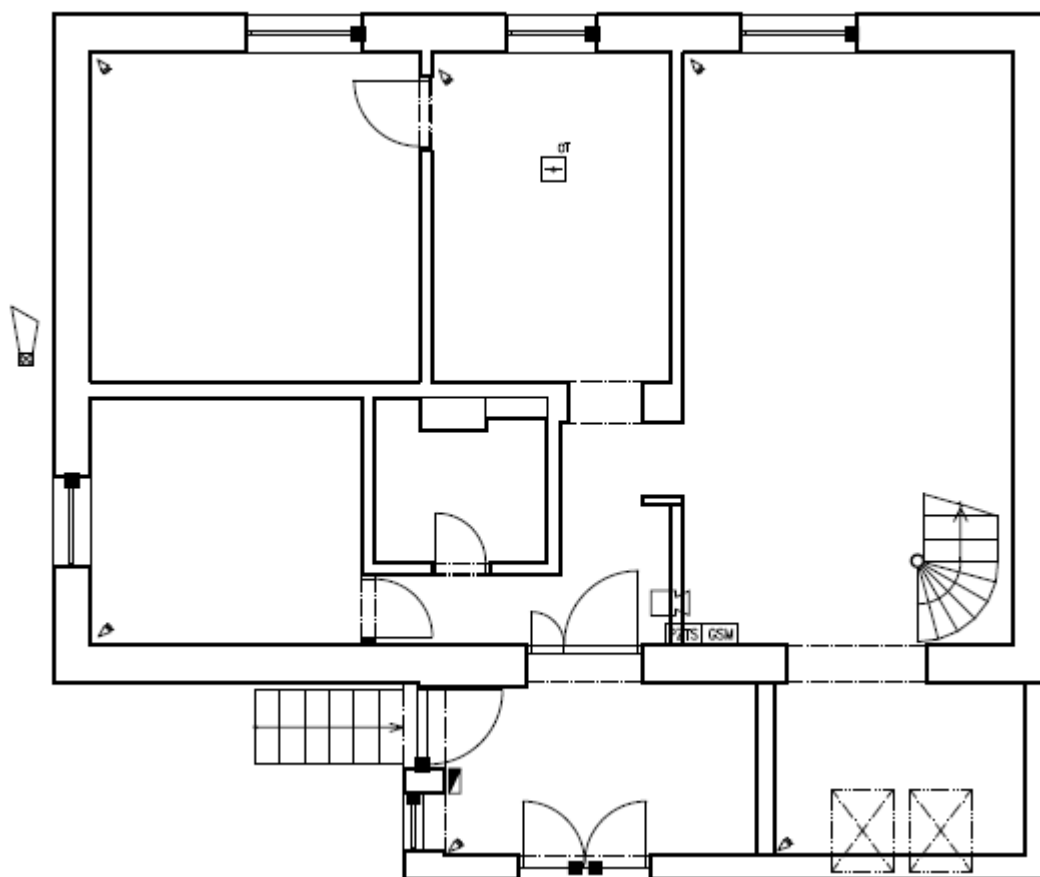
Daný PZTS obsahuje tři kombinované detektory kouře umístěné v kuchyních a technické místnosti. Při zapojení požárních detektorů je nutné danou smyčku nastavit jako požární. Je-li na vedení zkrat, je vyhlášen požární poplach nezávisle na stavu systému (zap/vyp). Dojde-li k přerušení požární smyčky, je vyhlášena porucha požární zóny.

Samolepící magnetické kontakty jsou umístěny v 1.NP na všech oknech a vnějších dveřích. Další je umístěn v podzemním podlaží na vstupních dveřích do sklepa. V 2. NP není těchto kontaktů potřeba.

PIR detektory pro drátové zapojení je možné zapojit v rámci jedné místnosti na stejnou smyčku jako okenní magnetický kontakt, tzv. ATZ smyčka. Tento způsob je vhodný ve sklepních prostorách pro zapojení PIR detektoru a dveřního magnetického kontaktu, v prvním podlaží poté pro pokoj, ložnici a předsíň, kde budou na jedné smyčce všechny magnetické kontakty spolu s PIR detektorem. Sběrníkové PIR detektory jsou umístěny v 1. NP v pokoji pro hosty, obývacím pokoji a dále v kuchyních obou podlaží.

Nedílnou součástí PZTS jsou také GSM a TCP/IP komunikátory, jež jsou umístěny na stejném místě jako ústředna. Současně je poblíž těchto zařízení umístěna také vnitřní siréna s blikáčem. Vnější zálohovaná siréna s blikáčem je umístěna ve štítu domu. Posledním článkem je ovládací klávesnice s LCD panelem, která je umístěna u vstupních dveří.

Rozmístění prvků v 1. NP odpovídá půdorysu (Obr. 31), přičemž lze systém rozdělit do podsystemů. Jeden podsystem zahrnuje plášťovou ochranu (magnetické kontakty) a druhý prostorovou ochranu (vnitřní PIR). Oba podsystemy je možné aktivovat nezávisle na sobě, příp. oba současně podle potřeb uživatele. Ovládání ústředny a získávání informací o stavu systému je možné získat pomocí internetového TCP/IP komunikátoru.



Obr. 31: Rozmístění prvků PZTS v 1. NP

### 13 VIZUALIZACE SCADA

Ovládání a řízení technologií v objektu je realizováno pomocí systému SCADA/HMI. Ten umožňuje monitorování i řízení jednotlivých částí systémů. Vybráno bylo vizualizační prostředí programu Reliance 4 Control a Design.

Komunikace mezi prostředím Reliance 4 a všemi prvky řídicího systému je možná přes ethernetové rozhraní centrální jednotky Teco CP-1016 a přes internetový modul ústředny PZTS Digiplex EVO192.

Vizualizace je rozdělena na několik samostatných skupin, tyto lze v prostředí Reliance 4 Control přepínat na liště v levé části obrazovky. Skupiny k dispozici jsou:

- osvětlení a ovládání rolet;
- řízení vytápění (nastavení teplot);
- technologie.

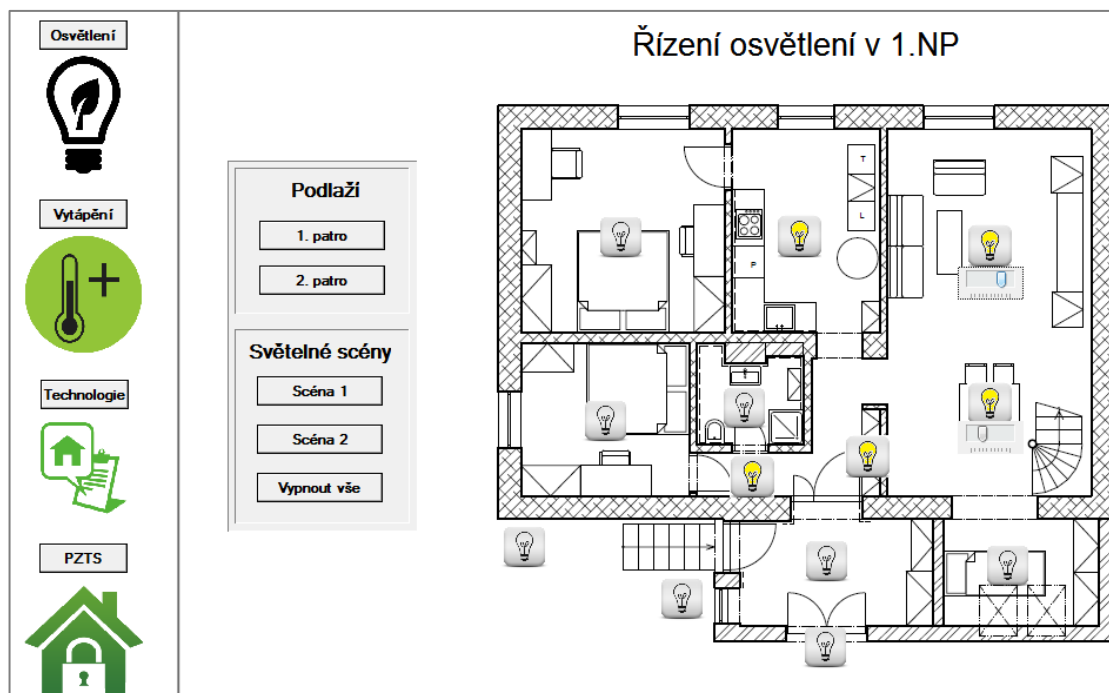
Obrázek (Obr. 32) představuje okno vizualizace, kde je možné vyčíst aktuální teplotu z prostorových termostatů pro daná podlaží a také pro koupelnu s elektrickým podlahovým vytápěním. Veškeré tyto teploty je možné nastavit tlačítky v pravé části panelu. Pro lepší vizualizaci je mezi hodnotami teplot přidána kontrolka, která představuje stav vytápění.

Vytápění - první patro				
Čidlo	Aktuální hodnota		Požadovaná hodnota	
Termostat	20.1 °C	<input checked="" type="radio"/>	21.0 °C	<input type="text" value="+"/> <input type="text" value="-"/>
El. podlahovka koupelna	23.3 °C	<input type="radio"/>	23.0 °C	<input type="text" value="+"/> <input type="text" value="-"/>
Vytápění - druhé patro				
Čidlo	Aktuální hodnota		Požadovaná hodnota	
Termostat	19.8 °C	<input checked="" type="radio"/>	20.8 °C	<input type="text" value="+"/> <input type="text" value="-"/>
El. podlahovka koupelna	21.3 °C	<input checked="" type="radio"/>	23.0 °C	<input type="text" value="+"/> <input type="text" value="-"/>

Obr. 32: Ovládací panel SCADA pro vytápění

Všechna okna mají postranní panel, který je zobrazen v dalším snímku (Obr. 33). Ten je současně vizualizačním rozhraním pro řízení osvětlení. Zde je možné přepínat mezi 1. a 2. podlažím. Dále jsou zde tlačítka pro aktivaci scén, příp. vypnutí veškerého osvětlení.

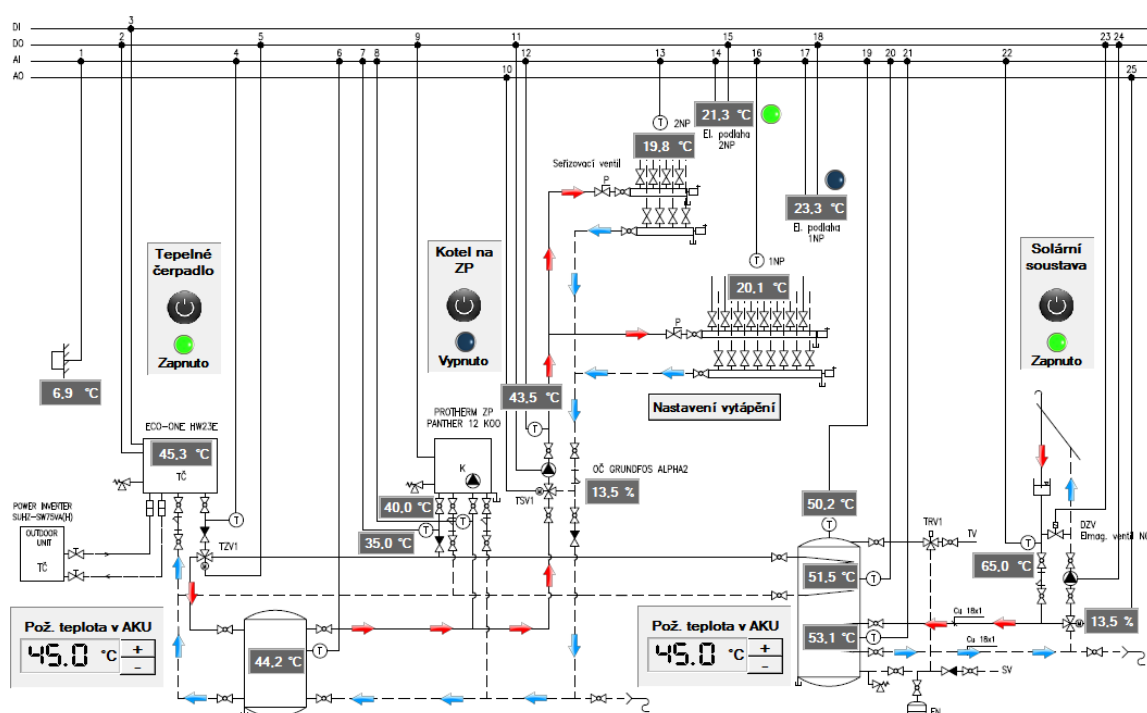
Jednotlivá světla lze zapnout a vypnout kliknutím na symbol žárovky. V obývacím pokoji je navíc možnost regulace stmívání pomocí posuvníků. V 2.NP je možnost ovládat také venkovní rolety v pokoji pomocí dvou grafických symbolů šipek.



Obr. 33: Vizualizační okno pro řízení osvětlení v 1.NP

Obrázek (Obr. 34) obsahuje vizualizaci řízení technologií tepelné soustavy. Zde lze zjistit, které zdroje jsou v provozu a jaké jsou teploty otopné vody v jednotlivých částech.

Teploty v zásobníku TV a akumulční nádrži lze natavit podle potřeby. Také je možné zdroje tepla vypnout pomocí příslušných tlačítek. Pro přehlednost jsou zde barevné šipky, které představují aktuální proudění otopné vody v soustavě.



Obr. 34: Vizualizace řízení technologií tepelné soustavy

## 14 EKONOMIKA OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ

### 14.1 Fotovoltaické panely – návrh

Součástí návrhu využití obnovitelných zdrojů je také ekonomické zvážení fotovoltaických panelů. Prvním krokem je volba instalovaných panelů a příslušenství, poté je nutné zjistit energii, kterou lze ze systému získat a tím také stanovit úspory. Na základě těchto údajů bude provedeno ekonomické zvážení, zda je pro daný objekt systém vhodný či nikoliv.

Pro návrh byla vybrána montážní sada fotovoltaických panelů a příslušenství SW 3 kW P od dodavatele SunWave v ceně 105000 Kč včetně 21% DPH. Sada je vhodná pro instalace na rodinné domy s výkonem 3 kW. Montážní sada a její parametry:

- fotovoltaické panely: 12 kusů SolarLand SLP, polykrystal 250 Wp;
- střídač: 1 ks, Kostal 3,3 DSC;
- montážní prvky: 1 sada (háky, spojovací materiál, spojky, apod.);
- FV kabely: 100 m;
- konektory: zástrčka / zásuvka (MC 4) 4 páry;
- plocha instalace: 20m<sup>2</sup>.

Základní parametry fotovoltaického panelu SolarLand SLP 250 W poly:

- špičkový výkon ( $P_m$ ): 250 Wp
- jmenovité napětí ( $V_{mp}$ ): 29,98 V
- proud při jmenovitém výkonu ( $I_{mp}$ ): 8,34 A
- účinnost panelu: 15,4 %
- provozní teplota: - 40°C až 85°C

K výpočtu byla použita výpočetní pomůcka PVGIS volně dostupná na internetu. Zadány byly předpokládané ztráty 12 %, sklon 45°, azimut -45° (JV) a přesná pozice umístění.

Program PVGIS vypočítal průměrnou měsíční výrobu elektřiny o hodnotě 223 kWh, což ročně představuje celkem 2670 kWh.

Systém je plánován jako ostrovní, tj. nebude uvažovat prodej elektrické energie. Jelikož již není platný program „Zelený bonus“ na výkup elektrické energie z FV systému a výkupní cena je velmi nízká, cca 0,8 Kč/kWh (je potřeba najít odběratele), a nákupní cena v tarifní sazbě D56d NT je 2,3 Kč/kWh a VT 3 Kč/kWh, je výhodnější instalovat menší solární systém, jehož vyrobenou energii jsme schopni využít v rámci vlastní spotřeby energie.

## 14.2 Fotovoltaické panely – hodnocení

Pro výpočet doby návratnosti a celkové ekonomické ohodnocení je uvažováno s využitím veškeré vyrobené elektrické energie. Dále se uvažují parametry:

- nákupní cena elektrické energie: 2,4 Kč/kWh
- diskont:  $r = 5 \%$
- inflace:  $\alpha = 2 \%$
- životnost projektu: 30 let
- investice:  $IN = 105000$  Kč
- průměrný roční výnos:  $CF = 6408$  Kč

Prostá doba návratnosti:

$$T_s = \frac{IN}{CF} = \frac{105000}{6408} = 16,4 \text{ let}$$

Prostá doba návratnosti je stanovena na 16,4 let, ovšem je velmi nepřesná, jelikož nepočítá s diskontní mírou ani s inflací. Pro přesnější určení je zde diskontovaná doba návratnosti:

$$T_d = \frac{\ln\left(1 + \frac{IN}{CF} \cdot (\alpha - r)\right)}{\ln\frac{(1 + \alpha)}{(1 + r)}} = \frac{\ln\left(1 + \frac{105000}{6408} \cdot (0,02 - 0,05)\right)}{\ln\frac{(1 + 0,02)}{(1 + 0,05)}} = 23,3 \text{ let}$$

Čistá současná hodnota projektu:

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

$$NPV = 6408 \frac{(1 + 0,05 - 0,02)^{30} - 1}{(0,05 - 0,02)(1 + 0,05 - 0,02)^{30}} - 105000 = 20600 \text{ Kč}$$

Vnitřní výnosové procento (zjištěno pomocí modulu Řešitel v MS Excel):

$$NPV = CF \frac{(1 + IRR - \alpha)^t - 1}{(IRR - \alpha)(1 + IRR - \alpha)^t} - IN = 0 \Rightarrow IRR = 6,4 \%$$

Z vypočítaných hodnot vyplývá, že fotovoltaický systém o špičkovém výkon 3 kWp má při plném využití vyrobené energie návratnost kolem 23 let. Životnost panelů je možná i více jak 30 let a je tedy možné jej využít pro daný objekt a nakonec z něj mít i zisk. Rozhodnutí je ovšem tento systém nerealizovat, jelikož doba návratnosti 23 let je příliš dlouhá a také není zaručeno, že tyto systémy opravdu budou schopné pracovat daný počet let.

### 14.3 Solární soustava – hodnocení

Solární soustava, která byla v práci navrhována, je využívána pro přípravu teplé vody během měsíců dubna až října, mimo tyto měsíce již hrozí nebezpečí zamrznutí soustavy. Energie, která je soustavou získána, je stanovena právě pro tyto měsíce a jejich hodnoty odpovídají tabulce (Tab. 56). Celková energie solární soustavy je stanovena na 3777 kWh/rok.

Tab. 56: Energetické parametry solární soustavy

měsíc		4	5	6	7	8	9	10
$H_{T,den,teor}$	[kWh/m <sup>2</sup> ]	7,13	7,97	8,32	8,00	7,27	6,34	5,02
$H_{T,den,dif}$	[kWh/m <sup>2</sup> ]	1,12	1,39	1,54	1,51	1,29	0,97	0,67
$G_{T,stř}$	[W/m <sup>2</sup> ]	525	522	518	511	511	510	478
$\theta_{es}$	[°C]	12,0	17,2	20,2	22,1	21,8	18,5	13,1
$H_R$	[kWh/den]	13,793	19,481	22,836	23,377	20,187	15,833	8,902
$Q$	[kWh/rok]	386	604	685	725	626	475	276

Pro výpočet se uvažuje diskont a inflace stejně jako u fotovoltaiky. Další parametry:

- cena energie – ZP: 1,74 Kč/kWh
- životnost projektu: 25 let
- investice:  $IN = 69592$  Kč
- průměrný roční výnos:  $CF = 6572$  Kč

Prostá doba návratnosti:

$$T_s = \frac{IN}{CF} = \frac{69592}{6572} = 10,6 \text{ let}$$

Diskontovaná doba návratnosti:

$$T_d = \frac{\ln\left(1 + \frac{IN}{CF} \cdot (\alpha - r)\right)}{\ln\left(\frac{1 + \alpha}{1 + r}\right)} = \frac{\ln\left(1 + \frac{69592}{6572} \cdot (0,02 - 0,05)\right)}{\ln\left(\frac{1 + 0,02}{1 + 0,05}\right)} = 13,2 \text{ let}$$

Čistá současná hodnota projektu:

$$NPV = 6572 \frac{(1 + 0,05 - 0,02)^{25} - 1}{(0,05 - 0,02)(1 + 0,05 - 0,02)^{25}} - 69592 = 44847 \text{ Kč}$$

Vnitřní výnosové procento (zjištěno pomocí modulu Řešitel v MS Excel):

$$NPV = CF \frac{(1 + IRR - \alpha)^t - 1}{(IRR - \alpha)(1 + IRR - \alpha)^t} - IN = 0 \Rightarrow IRR = 10,1 \%$$

Návratnost navržené solární soustavy je vypočítána na 13,2 let, tato doba se může značně zkrátit, bude-li soustava v provozu delší dobu v roce. Dobu návratnosti také může zásadně ovlivnit změna cen energií, především zemního plynu, se kterým bylo počítáno.

#### 14.4 Tepelné čerpadlo – hodnocení

Hodnocení TČ je komplikovanější, jelikož se jedná o zdroj s proměnným COP v závislosti na vnějších podmínkách. Bylo uvažováno několik vnějších teplot, pro které se stanovil počet dnů trvání, celková potřeba tepla, teplota otopné vody, výkon TČ a příslušný COP. Byl brán v úvahu i bod bivalence a částečně i teplo dodané solární soustavou.

Při ekonomickém hodnocení TČ je také vhodné upozornit na skutečnost, že úspory při jeho pořízení nejsou jen v rámci vytápění a přípravy teplé vody. Na základě instalovaného TČ je možné získat speciální tarif dodávky elektrické energie pro domy využívající právě TČ.

Díky nižší ceně elektrické energie klesnou také běžné a stálé náklady spojené se spotřebou elektřiny. Tyto úspory je vhodné také počítat v rámci návratnosti TČ.

Speciální tarif D56d, který lze získat, je rozdělen na vysoký (VT) a nízký tarif (NT). Nízký tarif je během dne k dispozici po dobu 22 hodin. Ceny platné pro současného dodavatele elektrické energie, E.ON, bez DPH, poplatků na jističe a distribuci:

- VT D02d      3,45 Kč/kWh (současný tarif)
- VT D56d      2,49 Kč/kWh
- NT D56d      1,92 Kč/kWh

Při uvažování rovnoměrného odběru elektřiny při NT i VT a spotřebě 4,2 MWh/rok (odhad podle reálné spotřeby) jsou ceny včetně poplatků na jističe a distribuci následující:

- D02d            3,80 Kč/kWh
- D56d            2,29 Kč/kWh

Podobná změna nastane ovšem i u cen dodávky zemního plynu, zde je situace bohužel opačná. Na rozdíl od elektrické energie, kdy se pořízením tepelného čerpadla podaří získat výhodnější tarif, se u ZP při nižší spotřebě cena za kWh zvýší. Hlavní příčinou značného zvýšení jsou poplatky za služby a distribuci. Ceny ZP včetně poplatků byly stanoveny pro současného dodavatele (Pražská Plynárenská) v hodnotách:

- současná cena ZP            1,25 Kč/kWh
- cena ZP při instalaci TČ    2,09 Kč/kWh

Z hodnot lze zjistit, že instalace tepelného čerpadla posouvá do popředí užívání elektrické energie, jelikož cena za jednotku ZP zásadně stoupá. Samozřejmě je tato cena značně ovlivněna spotřebou plynu v domácnosti na vaření. Také je vhodné upozornit na obecnost současných výpočtů, jelikož ceny energií se během let mění. Tepelné čerpadlo je vybaveno vnitřním elektrokotlem, tudíž je možnost kdykoliv v budoucnu, při zjištění nevýhodnosti využívání ZP, začít jako zdroj tepla používat elektrickou energii. Systém je navrhnut tak, aby změna zdroje neznamenal fyzické úpravy, ale pouze úpravu řídicího softwaru.

Pro vybrané parametry a ceny byla stanovena úspora 17 309 Kč za rok provozu.

- životnost projektu: 20 let
- investice:  $IN = 153170$  Kč
- průměrný roční výnos:  $CF = 17309$  Kč

Prostá doba návratnosti:

$$T_s = \frac{IN}{CF} = \frac{153170}{17309} = 8,9 \text{ let}$$

Diskontovaná doba návratnosti:

$$T_d = \frac{\ln\left(1 + \frac{IN}{CF} \cdot (\alpha - r)\right)}{\ln\left(\frac{1 + \alpha}{1 + r}\right)} = \frac{\ln\left(1 + \frac{153170}{17309} \cdot (0,02 - 0,05)\right)}{\ln\left(\frac{1 + 0,02}{1 + 0,05}\right)} = 10,6 \text{ let}$$

Čistá současná hodnota projektu:

$$NPV = 17309 \frac{(1 + 0,05 - 0,02)^{20} - 1}{(0,05 - 0,02)(1 + 0,05 - 0,02)^{20}} - 153170 = 104344 \text{ Kč}$$

Vnitřní výnosové procento (zjištěno pomocí modulu Řešitel v MS Excel):

$$NPV = CF \frac{(1 + IRR - \alpha)^t - 1}{(IRR - \alpha)(1 + IRR - \alpha)^t} - IN = 0 \Rightarrow IRR = 11,4 \%$$

Návratnost tepelného čerpadla je necelých 11 let v případě, kdy se uvažuje pokrytí potřeby tepla na přípravu TV v letních měsících jen pomocí solární soustavy.

## 15 EKONOMICKÉ OHODNOCENÍ

Nedílnou součástí navrhovaných systémů je také jejich ekonomické ohodnocení. Pro lepší přehlednost, jaké investice dané systémy vyžadují, jsou dále uváděny v dílčích kategoriích.

### 15.1 Otopná soustava a tepelné čerpadlo

Kategorie otopné soustavy v sobě zahrnuje kotel na ZP, akumulční nádrž i zásobník teplé vody, elektrické podlahové vytápění, otopná tělesa včetně rozvodů a dalšího vybavení. Součástí hodnocení je také cena za montážní práce zahrnující topenářské i instalatérské práce, tedy cena zahrnuje realizaci otopné soustavy i rozvody teplé a studené vody.

Celkové investice na tepelnou soustavu bez tepelného čerpadla, solární soustavy a řídicího systému je stanovena na 206 625 Kč. Ceny jsou uvedeny v tabulce (Tab. 57).

Tab. 57: Investice do tepelné soustavy

Kotel na ZP	Kotel Panther 12 KOO	12 441 Kč
Akumulační nádrž	NIBE UKV 102	8 087 Kč
Podlahové topení	LDTS 160/2,6m2 410 W	4 940 Kč
Otopná tělesa	Radik VK, Koratherm, Koralux	54 577 Kč
Zásobník TV	Bojler OKC 200 NTRR/BP	17 682 Kč
Čerpadlo	Grundfos Alpha2 25-40	3 600 Kč
Rozdělovač/Sběrač	Rozdělovač/sběrač IVAR.CS 501 ND	16 668 Kč
Potrubí	Měděné potrubí a Pex/Al/Pex	7 500 Kč
Příslušenství	Ventily, filtry, čidla, EN, apod.	39 534 Kč
Montáž (UT i TV)	Topenářské a instalatérské práce	41 596 Kč
<b>Investice celkem</b>		<b>206 625 Kč</b>

Tepelné čerpadlo je poté investičně jen otázkou vlastních jednotek a ceny montáže. Cena elektroinstalace je poté součástí vlastní kategorie. Investice na TČ jsou v tabulce (Tab. 58).

Tab. 58: Investice na tepelné čerpadlo vzduch-voda

TČ IN Mitsubishi	Ecodan EHSC-YM9E-B	84 610 Kč
TČ OUT Mitsubishi	Power Inverter UHZ-SW75VHA	68 560 Kč
Montáž	Montáž a připojení jednotek	6 532 Kč
<b>Investice celkem</b>		<b>159 702 Kč</b>

### 15.2 Solární soustava

Solární soustava uvažuje v hodnocení solární kolektory, instalační sadu, oběhový okruh, potřebné příslušenství a cenu montáže. Položky jsou uvedeny v tabulce (Tab. 59).

Tab. 59: Investice na solární soustavu

Solární kolektory	Regulus KPG1-ALC	41 100 Kč
Čerpadlo	WEBERMAN W0202 25-60	890 Kč
Nádrž na vodu	Otevřená EN 15 l	707 Kč
Potrubí	Měděné potrubí 18x1	1 700 Kč
Příslušenství	Konstrukce, ventily, pohony, apod.	13 117 Kč
Montáž	Průměrná cena za montáž	15 000 Kč
<b>Investice celkem</b>		<b>72 514 Kč</b>

### 15.3 Elektroinstalace - silnoproud, PZTS a řídicí systém

Elektroinstalace jako celek je rozdělena na silnoproudou elektroinstalaci, PZTS a systém řízení Teco CFox. Celkové investice na elektroinstalaci jsou v tabulce (Tab. 60).

Tab. 60: Investice na PZTS, Teco CFox a silnoproud

Jističe a rozvaděče	Jističe včetně rozvodných skříní	11 095 Kč
Kabely	CYKY J	8 074 Kč
Zásuvky	Zásuvky TANGO	5 483 Kč
Tlačítka a vypínače	Tlačítka a vypínače Logus	3 719 Kč
Příslušenství	Montážní krabičky, svorky, atd.	1 040 Kč
Montáž	Rozvody a montáž zařízení	37 530 Kč
Silnoproudá elektroinstalace celkem		66 942 Kč
PZTS Paradox Digiplex EVO celkem		25 373 Kč
Řídicí systém Teco CFox celkem		46 913 Kč
<b>Elektroinstalace celkem</b>		<b>139 228 Kč</b>

### 15.4 Celkové investice

Celkové investice zahrnují uvedené hodnocené kategorie a také odhad finančních nákladů na realizaci stavebních úprav. Nezahrnují vybavení domácnosti pro 2.NP, jedná se tedy jen o cenu za hrubou stavbu. Celkové náklady jsou v tabulce (Tab. 61).

Tab. 61: Celková investice projektu

PZTS	25 373 Kč
Silnoproud	66 942 Kč
Teco CFox	46 913 Kč
Solární soustava	72 514 Kč
Otopná soustava	206 625 Kč
Tepelné čerpadlo	159 702 Kč
Rekonstrukce	155 764 Kč
<b>Celkové investice</b>	<b>733 833 Kč</b>

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navržení integrovaného systému ve starším rodinném domě, který prochází rekonstrukcí. Výchozím materiálem pro vytvoření projektu integrovaného systému byla teoretická část práce, která pojednávala o energeticky úsporných domech, stavební fyzice, tvorbě mikroklimatu a obnovitelných zdrojích energie. Součástí teoretické části byly také stanoveny požadavky a výpočetní postupy a návrhy dílčích systémů, příp. zařízení techniky prostředí.

Na základě analýzy uvedené teoretické části byly ověřeny stávající tepelně-technické vlastnosti budovy. Zde byly zjištěny nedostatky v tepelné izolaci stávající bytové části, pro které byla navržena opatření. Současně bylo provedeno hodnocení nové předpokládané výstavby v podkrovním prostoru. Výsledkem této části práce byla měrná ztráta prostupem tepla a celková tepelná ztráta 7,63 kW, která je podstatná pro návrh tepelné soustavy.

Značná část práce byla věnována návrhu tepelné soustavy, která je navržena současně pro vytápění i přípravu teplé vody. Nejdříve byla navržena otopná soustava, která zahrnuje výběr otopných těles, vyvážení tlakových ztrát a návrh ekvitermní křivky. Zdroje tepla byly vybrány v podobě tepelného čerpadla vzduch-voda, kotle na ZP a solárních kolektorů s otevřenou soustavou. Pro vybrané zdroje bylo navrženo schéma hydraulického zapojení, včetně všech otopných okruhů, a zjištěn bod bivalence při teplotě  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . V rámci tepelné soustavy, části přípravy teplé vody, byly zjištěny a vypočítány požadavky na minimální objem zásobníku TV, výkon zdroje tepla a počet solárních kolektorů. Součástí tepelné soustavy je také řízení, které je řešeno pomocí řídicí jednotky CP-1016 od společnosti Teco.

Nedílnou součástí je také návrh elektroinstalace, ta zahrnuje silnoproudou i sběrníkovou elektroinstalaci a PZTS. Silnoproudá elektroinstalace obsahuje návrh rozvaděčů pro daná podlaží a silové rozvody zásuvkových, světelných či spotřebičových okruhů.

Sběrníková elektroinstalace využívá sběrnici CIB od společností iNELS a Teco, přičemž moduly jsou vybrány z řady CFox od Teco a řízení zajišťuje centrální jednotka CP-1016. Zde byl kladen důraz na úspory, což vedlo k zajímavému řešení systému. Nebyla využita drahá sběrníková „inteligentní tlačítka“, ale pouze tlačítka klasická, která jsou připojena na modul binárních vstupů. Navržené řešení zde vychází na třetinové investice.

Zabezpečovací systém (PZTS) je založen na sběrníkové ústředně Digiplex EVO. Ústředna je vybavena GSM a TCP/IP komunikátory, které umožňují monitorování a řízení ústředny pomocí mobilní sítě nebo internetového spojení.

Dílčí podsystémy elektroinstalace i tepelné soustavy je možné monitorovat a řídit místně i dálkově pomocí navrženého vizualizačního prostředí SCADA/HMI.

Součástí práce bylo také zhodnocení doby návratnosti investic jednotlivých technologií využívající obnovitelné zdroje. Diskontovaná doba návratnosti solární soustavy vychází na 13 let a pro tepelné čerpadlo vzduchu-voda poté 10,5 let. Doba návratnosti se může zdát vysoká, ale v případě uvažování každoročního růstu cen energií se doba značně zkracuje. Oba systémy byly v projektu využity. V rámci obnovitelných zdrojů byla zvážena také fotovoltaika, její doba návratnosti byla ovšem 23 let, proto byla prozatím zamítnuta.

Samotný závěr práce se zabýval kalkulací celkových investic projektu. Celkové investice na navržené systémy tepelné soustavy, elektroinstalace, technologie a náklady na navržená opatření, se pohybují kolem 730 tisíc Kč včetně předpokládaných prací.

Práce byla zpracována jako projekt pro reálné využití pro daný objekt. Z toho důvody byla volena nepřiliš nákladná, ale stále pokud možno plnohodnotná řešení. Celkové investice se mohou zdát i přes snahu o úspory vysoké, ale je nutné si uvědomit, že kolem 450 tisíc Kč z celkových investic tvoří nutné náklady na vlastní rekonstrukci domu. Zbylé náklady jsou na navržené systémy, které se při správném návrhu a součinnosti investorovi relativně brzy navrátí. Využívání obnovitelných zdrojů spolu s integrovanými systémy má tedy v oblasti budov budoucnost.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2 Požadavky*. 2011. Praha: ÚNMZ
- [2] Energetická náročnost budov - definice pojmů. 2015. *TZB-info* [online]. [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/239-energeticka-narocnost-budov-definice-pojmu>
- [3] Průkaz energetické náročnosti budov. 2008. *Ministerstvo obchodu a průmyslu* [online]. [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/cz/energeticke-expertizy/prukaz-energeticke-narocnosti-budov>
- [4] Vyhláška o energetické náročnosti budov. 2013. In: *Předpis č. 78/2013 Sb.* Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-78>
- [5] Energie z obnovitelných zdrojů. 2015. *ČEZ* [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje.html>
- [6] RUBINOVÁ, Olga a Aleš RUBIN. 2005. Vnitřní prostředí budov a tepelná pohoda člověka. *TZB-info* [online]. [cit. 2015-02-11]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2650-vnitri-prostredi-budov-a-tepelna-pohoda-cloveka>.
- [7] SZÉKYOVÁ, Marta. 2006. *Větrání a klimatizace*. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 359 s. ISBN 80-807-6037-3.
- [8] Kulový teploměr a jeho vývoj z hlediska hodnocení tepelné pohody organismu. *TZB-info* [online]. [cit. 2015-02-12]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2896-kulovy-teplomer-a-jeho-vyvoj-z-hlediska-hodnoceni-tepelne-pohody-organismu>
- [9] PLŠEK, Pavel. *Řízení systémů tvorby prostředí – součást integrovaných řídicích systémů budov*. Zlín, 2008. Diplomová práce. UTB ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Martin Zálešák, CSc.
- [10] Stanovení střední radiační teploty (I). 2006. *TZB-info* [online]. [cit. 2015-02-23]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3072-stanoveni-stredni-radiacni-teploty-i>
- [11] HORÁČEK, Tomáš. *Integrovaný systém v budově - Systém techniky prostředí restauračního provozu s kuchyní a jídelnou*. Zlín, 2012. Diplomová práce. UTB ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Martin Zálešák, CSc.
- [12] ČSN EN ISO 7730. *Ergonomie tepelného prostředí - Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu*. 2006. Praha: ÚNMZ

- [13] NOVÁČEK, Jiří. 2015. Požadavky na vzduchovou neprůzvučnost. *TZB-info* [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/pozadavky-na-vzduchovou-nepruzvucnost>
- [14] NOVÁČEK, Jiří. 2015. Stavební akustika - Základy a terminologie. *TZB-info* [online]. [cit. 2015-03-11]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/177-stavebni-akustika-zaklady-a-terminologie>
- [15] *Topenářská příručka: Návod na projektování tepelných zařízení*. 2007. 1. vyd. Praha: Agentura ČSTZ, 378 s. ISBN 978-80-86028-13-2.
- [16] Požadavky na kročejovou neprůzvučnost. *TZB-info* [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/pozadavky-na-krocejovou-nepruzvucnost>
- [17] RUBÁŠ, Pavel. 2007. Denní osvětlení a proslunění bytových domů. *TZB-info* [online]. [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3945-denni-osvetleni-a-prosluneni-bytovych-domu>
- [18] CHYSKÝ, Jaroslav a Karel HEMZAL. *Větrání a klimatizace*. 3., zcela přeprac. vyd. Brno: Bolit-B press, 1993, 490 s. Česká matice technická (Bolit-B press). ISBN 80-901574-0-8.
- [19] ZMRHAL, Vladimír. 2012. Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1. *TZB-info* [online]. [cit. 2015-03-14]. 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>
- [20] Prostup tepla konstrukcí. 2015. *TZB-info* [online]. [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/prostup-tepla>
- [21] ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. 2005. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [22] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. 2005. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [23] JELÍNEK, Vladimír. 2010. Difúzní tok a kondenzace vodní páry v konstrukci stěny – část 1. *TZB-info* [online]. [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/vlhkost-a-kondenzace-v-konstrukcich/6771-difuzni-tok-a-kondenzace-vodni-pary-v-konstrukci-steny-cast-1-vlhky-vzduch-a-vznik-difuzniho-toku>

- [24] ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. 2005. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [25] Tepelné zisky od vnitřních zdrojů. 2006. *TZB-info* [online]. [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3065-tepelne-zisky-od-vnitrnich-zdroju>
- [26] ČSN 73 0548. *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů*. 1985. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [27] BAŠTA, Jiří. 2006. Podlahové vytápění (II): Projektování. *TZB-info* [online]. [cit. 2015-04-03]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3442-podlahove-vytapeni-ii>
- [28] ČSN EN 1264-4. *Zabudované vodní velkoplošné otopné a chladicí soustavy - Část 4: Instalace*. 2010. Praha: ÚNMZ.
- [29] ČSN 06 0830. *Tepelné soustavy v budovách - Zabezpečovací zařízení Zdroj*: <http://www.tzb-info.cz/normy/csn-06-0830-2014-08>. 2014. Praha: ÚNMZ
- [30] Regulační armatury - teoretická základna (I). *TZB-info* [online]. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z <http://www.tzb-info.cz/2181-regulacni-armatury-teoreticka-zakladna-i>
- [31] ČSN 06 0320. *Tepelné soustavy v budovách - Příprava teplé vody - Navrhování a projektování*. 2006. Praha: ÚNMZ
- [32] MATUŠKA, T. Typy solárních kolektorů. *TZB-info* [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/154-typy-solarnich-kolektoru>
- [33] BAŠTA, Jiří. 2002. Návrh expanzní nádoby. *TZB-info* [online]. [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1156-navrh-expanzni-nadoby#tabn>
- [34] MERZ, Hermann; HANSEMAN, Thomas; HÜBNER, Christof. *Automatizované systémy budov: Sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2008. 264 s. ISBN 978-80-247-2367-9.
- [35] Inteligentní elektroinstalace: otázky a odpovědi | HW.cz. *HW.cz* [online]. 2013 [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/automatizace/inteligentni-elektroinstalace-otazky-a-odpovedi.html>
- [36] SLUKA, Jiří. 2011. Požadavky na vnitřní el. rozvody podle ČSN 33 2130 ed. 2. *TZB-info* [online]. [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/8020-pozadavky-na-vnitрни-elektricke-rozvody-podle-csn-33-2130-ed-2-2-díl>
- [37] LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. 2001. *Výpočtové tabulky pro vytápění: vztahy a pomůcky*. 1. vyd. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 208 s. Sešit projektanta - pracovní podklady. ISBN 80-02-01466-9.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

AC	Střídavý proud (Alternating Current)
AI/AO	Analogový vstup/výstup (Analog I/O)
BUS	Sběrnice
CIB	Common Installation Bus
COP	Topný faktor (Coefficient of performance)
DC	Stejnoseměrný proud (Direct Current)
DI/DO	Digitální vstup/výstup (Digital I/O)
DN	Vnitřní rozměr potrubí - jmenovitá světlost
EN	Expanzní nádoba
EPS	Elektronická požární signalizace
FI	Proudový chránič (Failure Intensity – chybový proud)
FV	Fotovoltaika
H/PDR	Hlavní/podružný domovní rozvaděč
HMI	Uživatelské rozhraní (Human Machine Interface)
HSC	Čítač rychlých impulsů (High Speed Counter)
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
I/O	Vstup/výstup (Input/Output)
IPxx	Stupeň krytí (Ingress Protection)
LON	Local Operating Network
MaR	Měření a regulace
N,PE,L	Nulový, ochranný, fázový vodič
NO/NC	Normálně otevřeno/zavřeno (Normal Open/Close)
NP	Nadzemní podlaží
NPK	Nejvyšší přípustná koncentrace
NT/VT	Nízký/vysoký tarif

OČ	Oběhové čerpadlo
PEL	Přípustný expoziční limit
PENB	Průkaz energetické náročnosti budovy
PIR	Pasivní infračervený senzor (Passive Infrared)
PLC	Programovatelný logický automat (Programmable Logic Controller)
PMV	Předpověď středního výsledku hlasování (Predicted Mean Vote)
PP	Podzemní podlaží
PPD	Předpovídané procento nespokojených (Predicted Percentage of Dissatisfied)
PZTS	Poplachový zabezpečovací a tísňový systém – dříve EZS
SCADA	Dispečerské řízení a sběr dat (Supervisory Control And Data Acquisition)
TČ	Tepelné čerpadlo
TN-C	Rozvodná síť se společným vodičem PE a N - PEN (Terre Neutre Combine)
TN-S	Rozvodná síť s rozdělenými vodiči PE a N (Terre Neutre Separe)
TRV	Termoregulační ventil
TSV	Trojcestný směšovací ventil
TV	Teplá voda
TZV	Trojcestný zónový ventil
UTP	Nestíněný kroucený pár (Unshielded Twisted Pair)
ZP	Zemní plyn

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: PENB a energetický štítek obálky budovy [4]</i> .....	16
<i>Obr. 2: PDD jako funkce PMV</i> .....	24
<i>Obr. 3: Podlahové vytápění – suchý proces [27]</i> .....	55
<i>Obr. 4: Podlahové vytápění – mokrý proces [27]</i> .....	55
<i>Obr. 5: Uložení do meandru a plošné spirály [27]</i> .....	56
<i>Obr. 6: Letecký snímek pozemku</i> .....	73
<i>Obr. 7: Jižní pohled na objekt</i> .....	74
<i>Obr. 8: Půdní prostor před rekonstrukcí</i> .....	74
<i>Obr. 9: Půdorys místností podzemního podlaží</i> .....	75
<i>Obr. 10: Půdorys místností 1. NP</i> .....	76
<i>Obr. 11: Půdorys podkroví</i> .....	77
<i>Obr. 12: Průběh tlaků vodní páry v obvodových stěnách z vepřovic</i> .....	79
<i>Obr. 13: Průběh tlaků vodní páry v soklových částech před rekonstrukcí</i> .....	80
<i>Obr. 14: Minimální vnitřní povrchová teplota <math>\theta_{si}</math> a teplotní faktor <math>f_{Rsi}</math></i> .....	81
<i>Obr. 15: Grafický výstup programu TechCON</i> .....	92
<i>Obr. 16: Výchozí schéma tepelné soustavy</i> .....	93
<i>Obr. 17: Grafický průběh teplot v otopném období</i> .....	99
<i>Obr. 18: Bod bivalence</i> .....	101
<i>Obr. 19: Křivky průběhu dodávek a odběru tepla</i> .....	103
<i>Obr. 20: Výkon zdroje pro přípravu teplé vody</i> .....	104
<i>Obr. 21: Hydraulické schéma tepelné soustavy s řízením</i> .....	109
<i>Obr. 22: Světelné okruhy 1.NP</i> .....	117
<i>Obr. 23: Zásuvkové okruhy 2.NP</i> .....	118
<i>Obr. 24: Rozvaděč pro 1.NP</i> .....	119
<i>Obr. 25: Podružný rozvaděč pro 2.NP</i> .....	119
<i>Obr. 26: Podružný rozvaděč pro PP</i> .....	120
<i>Obr. 27: Rozmístění prvků sběrníkové elektroinstalace v 2.NP</i> .....	122
<i>Obr. 28: Zapojení hlavní jednotky Teco CP-1016</i> .....	124
<i>Obr. 29: Zapojení modulů CFox pro 1.NP</i> .....	124
<i>Obr. 30: Zapojení modulů CFox pro 2.NP</i> .....	124
<i>Obr. 31: Rozmístění prvků PZTS v 1.NP</i> .....	126
<i>Obr. 32: Ovládací panel SCADA pro vytápění</i> .....	127
<i>Obr. 33: Vizualizační okno pro řízení osvětlení v 1.NP</i> .....	128
<i>Obr. 34: Vizualizace řízení technologií tepelné soustavy</i> .....	128

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1: Rozdělení budov podle potřeby tepla na vytápění .....</i>	13
<i>Tab. 2: Hodnoty pro pasivní budovy [1] .....</i>	14
<i>Tab. 3: Kategorie vnitřního prostředí .....</i>	18
<i>Tab. 4: Doporučené hodnoty pro vnitřní mikroklima .....</i>	18
<i>Tab. 5: Měrný energetický výdej na m<sup>2</sup> plochy těla.....</i>	19
<i>Tab. 6: Závislost součinitele A na rychlosti proudění vzduchu v prostoru .....</i>	21
<i>Tab. 7: Stupnice PMV.....</i>	23
<i>Tab. 8: Rozsah parametru pro výpočet PMV .....</i>	23
<i>Tab. 9: Hladina akustického tlaku A dle ČSN EN 15251 .....</i>	25
<i>Tab. 10: Požadavky na umělé osvětlení .....</i>	26
<i>Tab. 11: Intenzita větrání dle ČSN EN 15665/Z1 .....</i>	28
<i>Tab. 12: Intenzita výměny venkovního vzduchu dle ČSN EN 12831.....</i>	28
<i>Tab. 13: Tepelné odpory konstrukce dle ČSN 73 0540-3.....</i>	31
<i>Tab. 14: Výběr požadovaných a doporučených hodnot součinitele prostupu tepla .....</i>	32
<i>Tab. 15: Průměrný vliv tepelných vazeb konstrukcí .....</i>	33
<i>Tab. 16: Celkový průměrný vliv tepelných vazeb .....</i>	33
<i>Tab. 17: Návrhové hodnoty činitele teplotní redukce podle ČSN 73 0540-3 [22].....</i>	34
<i>Tab. 18: Požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla .....</i>	34
<i>Tab. 19: Kategorie podlah podle poklesu dotykové teploty .....</i>	36
<i>Tab. 20: Požadované a doporučené kategorie podlah - obytná budova.....</i>	36
<i>Tab. 21: Pokles výsledné teploty v místnosti v zimním období [1] .....</i>	38
<i>Tab. 22: Nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti v letním období [1].....</i>	38
<i>Tab. 23: Výpočtové vnější podmínky vybraných lokalit .....</i>	39
<i>Tab. 24: Výpočtová vnitřní teplota obytných prostor.....</i>	40
<i>Tab. 25: Teplotní korekční činitel <math>f_{\Delta\theta,i}</math>.....</i>	46
<i>Tab. 26: Teplotní korekční činitel <math>f_k</math> pro zjednodušenou metodu.....</i>	46
<i>Tab. 27: Minimální tepelný odpor konstrukcí pod podlahovým vytápěním [28].....</i>	56
<i>Tab. 28: Maximální povrchová teplota a měrný výkon .....</i>	57
<i>Tab. 29: Doporučená povrchová teplota podlahového vytápění.....</i>	57
<i>Tab. 30: Potřeba TV pro jednu osobu na den v bytovém objektu [31] .....</i>	62
<i>Tab. 31: Praktické hodnoty spotřeby TV [15].....</i>	64
<i>Tab. 32: EN - Součinitel zvětšení objemu .....</i>	67

<i>Tab. 33: Okrajové podmínky lokality dle ČSN EN 12831 .....</i>	<i>73</i>
<i>Tab. 34: Parametry místností podzemního podlaží.....</i>	<i>75</i>
<i>Tab. 35: Parametry místností v 1. NP .....</i>	<i>76</i>
<i>Tab. 36: Parametry místností v podkroví .....</i>	<i>77</i>
<i>Tab. 37: Skladba současné převažující obvodové zdi .....</i>	<i>79</i>
<i>Tab. 38: Skladba soklových částí obvodových zdí .....</i>	<i>80</i>
<i>Tab. 39: Součinitel prostupu tepla konstrukcí před rekonstrukcí .....</i>	<i>82</i>
<i>Tab. 40: Měrná ztráta tepla prostupem a průměrný součinitel prostupu tepla.....</i>	<i>84</i>
<i>Tab. 41: Tepelné ztráty a tepelný výkon objektu před rekonstrukcí .....</i>	<i>85</i>
<i>Tab. 42: Součinitel prostupu tepla konstrukcí po rekonstrukci .....</i>	<i>88</i>
<i>Tab. 43: Měrná ztráta tepla prostupem a průměrný součinitel prostupu tepla.....</i>	<i>89</i>
<i>Tab. 44: Tepelné ztráty a tepelný výkon objektu před rekonstrukcí .....</i>	<i>91</i>
<i>Tab. 45: Vybraná otopná tělesa .....</i>	<i>94</i>
<i>Tab. 46: Dispoziční tlaky otopných těles v 1.NP .....</i>	<i>95</i>
<i>Tab. 47: Dispoziční tlaky otopných těles v 2.NP .....</i>	<i>95</i>
<i>Tab. 48: Hodnoty ekvitemní křivky.....</i>	<i>99</i>
<i>Tab. 49: Výskyt teplot v otopném období .....</i>	<i>99</i>
<i>Tab. 50: Výkonové parametry tepelného čerpadla .....</i>	<i>100</i>
<i>Tab. 51: Profil využití teplé vody během dne.....</i>	<i>103</i>
<i>Tab. 52: Technologie – I/O, zařízení a funkce.....</i>	<i>114</i>
<i>Tab. 53: Schématické značky elektrických okruhů.....</i>	<i>120</i>
<i>Tab. 54: Moduly řídicího systému domu .....</i>	<i>123</i>
<i>Tab. 55: Prvky PZTS .....</i>	<i>125</i>
<i>Tab. 56: Energetické parametry solární soustavy .....</i>	<i>131</i>
<i>Tab. 57: Investice do tepelné soustavy.....</i>	<i>134</i>
<i>Tab. 58: Investice na tepelné čerpadlo vzduch-voda .....</i>	<i>134</i>
<i>Tab. 59: Investice na solární soustavu.....</i>	<i>135</i>
<i>Tab. 60: Investice na PZTS, Teco CFox a silnoproud .....</i>	<i>135</i>
<i>Tab. 61: Celková investice projektu .....</i>	<i>135</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

- P I SF Teplo – Stavební konstrukce
- P II Půdorysy
- P III TechCON - Tepelné ztráty
- P IV Otopná soustava a tělesa
- P V Tepelná soustava a řízení
- P VI Řídicí systém - zapojení modulů
- P VII Silnoproud - rozvaděče HDR,PDR
- P VIII Elektroinstalace

**Poznámka:** přílohy jsou pouze v elektronické podobě.