

# Návrh nízkoenergetického inteligentního rodinného domu

An Intelligent Family House Design

Bc. Petr Luzar

---

Diplomová práce  
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Luzar**  
Osobní číslo: **A11527**  
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Integrované systémy v budovách**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh nízkoenergetického inteligentního rodinného domu**

## Zásady pro vypracování:

1. **Prostudujte energeticky úsporné budovy obsahující možné způsoby tvorby mikroklimatu.**
2. **Navrhněte možnosti řízení, monitorování a komunikace systémů techniky v budově.**
3. **Aplikujte poznatky na konkrétní budovu.**
4. **Navrhněte použití tepelného čerpadla a vzduchotechnického systému umožňujícího vytápění i klimatizaci s možností rekuperace vzduchu a uplatněním solárních panelů.**
5. **Dům vybavte sběrníkovým systémem KNX, komunikační bránou a SCADA systémem.**
6. **Sběrníkový systém doplňte o systémy EZS a EPS.**
7. **Provedte technicko-ekonomické hodnocení projektu.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **VRÁNA, Jakub.** Technická zařízení budov v praxi: [příručka pro stavaře]. 1. vyd. Praha: Grada, 2007, 331 s. ISBN 978-80-247-1588-9.
2. **CHYSKÝ, Jaroslav.** Větrání a klimatizace. Vyd. 3., zcela přeprac. Praha: Česká Matica technická, 1993, 490 s. ISBN 80-901-5740-8.
3. **BRADÁČOVÁ, Isabela.** Požární bezpečnost staveb: nevýrobní objekty. 2., aktualiz. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010, 228 s. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-86111-77-3.
4. **CENEK, Miroslav.** Obnovitelné zdroje energie. 2. upr. a dopl. vyd. Praha: FCC Public, 2001, 208 s. ISBN 80-901-9858-9.
5. **MERZ, Hermann, Thomas HANSEMANN a Christof HÜBNER.** Automatizované systémy budov: sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 261 s. ISBN 978-80-247-2367-9.

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Martin Zálešák, CSc.**

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce:

**24. února 2013**

Termín odevzdání diplomové práce:

**11. června 2013**

Ve Zlíně dne 24. února 2013

  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*ka ředitel ústavu*

## ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na problematiku integrovaných systémů umožňujících zajistit komfortní bydlení a bezpečnost společně s nízkými provozními a energetickými výdaji. Jedná se o systémy tvorby vnitřního klimatu, elektroinstalace, moderní řídicí systémy a systémy pro správu objektu, které jsou následně implementovány do inteligentního rodinného domu.

Návrh inteligentního domu obsahuje vše od výpočtu parametrů jednotlivých konstrukcí, tepelných ztrát a zisků, přes projektování teplovzdušného a podlahového vytápění, soustavy ohřevu teplé vody, požárního a zabezpečovacích zařízení, až po návrh inteligentního řídicího systému. Na závěr je uvedeno technicko-ekonomické zhodnocení celého projektu.

Klíčová slova: inteligentní dům, sběrníkový systém, tepelné čerpadlo, solární systém, vzduchotechnika

## ABSTRACT

The diploma thesis focuses on the issue of the integrated systems that help to provide comfortable living and safeness, together with the low operating and energy expenses. It is a system of creating an indoor climate, wiring, modern control system and systems for property managements which are afterwards implemented in the smart house.

The proposal of the smart house includes everything from the calculation of parameters of the individual structures, heat losses and gains, through the planning of the warm air heating and underfloor heating, the system of water heating, fire and safety mechanisms to the proposal of smart control system. Finally there is the technical and economical appraisal of the whole project.

Keywords: intelligent building, bus system, heat pump, solar system, air-condition system

Rád bych poděkoval panu Ing. Martinu Zálešákovi, CSc., za poskytnutou odbornou pomoc při tvorbě diplomové práce a za všechny jeho rady a připomínky, které mi byly velmi nápomocny. V neposlední řadě také děkuji své blízké rodině a přátelům za morální a duševní podporu během mého studia na vysoké škole.

”

*Když si člověk postaví dům, vždycky zpozoruje, že se přitom přiučil něčemu,  
co měl rozhodně vědět, než začal stavět.*

“

FRIEDRICH WILHELM NIETZSCHE (\*1844 – †1900)



**Prohlašuji, že**

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

**Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ÚVOD</b> .....  | <b>12</b> |
| <b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....                                     | <b>13</b> |
| <b>1 TYPY ENERGETICKY ÚSPORNÝCH BUDOV</b> .....                    | <b>14</b> |
| 1.1 NÍZKOENERGETICKÉ DOMY .....                                    | 14        |
| 1.2 PASIVNÍ DOMY.....  | 14        |
| 1.3 NULOVÉ DOMY .....  | 15        |
| <b>2 VNITŘNÍ KLIMATICKÉ PODMÍNKY V BUDOVĚ</b> .....                | <b>17</b> |
| 2.1 TEPELNÁ POHODA .....   | 17        |
| 2.2 VĚTRÁNÍ OBJEKTU A JEHO OPTIMÁLNÍ MIKROKLIMATICKÉ PODMÍNKY..... | 24        |
| <b>3 VNĚJŠÍ KLIMATICKÉ PODMÍNKY</b> .....                          | <b>27</b> |
| <b>4 ZÁSADY VÝSTAVBY PRO KONSTRUKCE ÚSPORNÝCH DOMŮ</b> .....       | <b>29</b> |
| 4.1 SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA.....                                 | 29        |
| 4.2 VLHKOSTNÍ VLASTNOSTI KONSTRUKCE .....                          | 34        |
| 4.3 TEPELNÁ STABILITA MÍSTNOSTI .....                              | 35        |
| 4.4 TEPELNÁ ZTRÁTA MÍSTNOSTI.....                                  | 37        |
| 4.5 TEPELNÉ ZISKY OD VNITŘNÍCH A SOLÁRNÍCH ZDROJŮ .....            | 38        |
| 4.6 ZÁTOPOVÝ TEPELNÝ VÝKON.....                                    | 40        |
| 4.7 UMÍSTĚNÍ BUDOVY V TERÉNU.....                                  | 41        |
| 4.8 KOMPAKTNÍ TVAR BUDOVY.....                                     | 41        |
| 4.9 KONSTRUKCE A STĚNY DOMU.....                                   | 42        |
| 4.10 KONSTRUKCE PROSKLENÝCH PLOCH A OKEN.....                      | 43        |
| 4.11 KONSTRUKCE STŘECHY .....                                      | 44        |
| <b>5 ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY</b> .....                        | <b>45</b> |
| <b>6 ZDROJE ENERGIÍ V NÍZKOENERGETICKÝCH DOMECH</b> .....          | <b>48</b> |
| 6.1 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE .....                               | 48        |
| 6.2 NEOBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE .....                             | 49        |
| <b>7 SYSTÉMY A ZAŘÍZENÍ PRO TVORBU VNITŘNÍHO KLIMATU</b> .....     | <b>50</b> |
| 7.1 TEPELNÁ ČERPADLA .....   | 51        |
| 7.1.1 Návrh tepelného čerpadla.....                                | 53        |
| 7.2 VYTÁPĚCÍ KOTLE.....  | 54        |
| 7.2.1 Stanovení tepelného výkonu .....                             | 56        |
| 7.3 PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY.....                                       | 57        |
| 7.3.1 Návrh potřeby teplé vody .....                               | 57        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 7.4       | SLUNEČNÍ KOLEKTORY .....                                      | 58         |
| 7.4.1     | Návrh slunečních kolektorů .....                              | 61         |
| 7.5       | TEPLOVZDUŠNÉ VYTÁPĚNÍ .....                                   | 63         |
| 7.5.1     | Návrh teplovzdušného vytápění .....                           | 64         |
| 7.6       | PODLAHOVÉ VYTÁPĚNÍ.....                                       | 66         |
| 7.6.1     | Návrh podlahového vytápění.....                               | 67         |
| 7.7       | FOTOVOLTAICKÉ PANELY .....                                    | 70         |
| 7.7.1     | Návrh fotovoltaického zařízení .....                          | 71         |
| <b>8</b>  | <b>ELEKTRONICKÉ BEZPEČNOSTNÍ SYSTÉMY EZS A EPS.....</b>       | <b>74</b>  |
| 8.1       | ELEKTRONICKÁ ZABEZPEČOVACÍ SIGNALIZACE.....                   | 74         |
| 8.2       | ELEKTRONICKÁ POŽÁRNÍ SIGNALIZACE .....                        | 74         |
| <b>9</b>  | <b>KOMUNIKAČNÍ SBĚRNICE KNX/EIB .....</b>                     | <b>76</b>  |
| 9.1       | VRSTVY KNX .....  | 76         |
| 9.2       | PŘENOSOVÁ MÉDIA KNX .....                                     | 77         |
| 9.3       | STRUKTURA SÍŤOVÉ SBĚRNICE.....                                | 77         |
| <b>II</b> | <b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>                                   | <b>78</b>  |
| <b>10</b> | <b>POPIS NAVRHOVANÉHO RODINNÉHO DOMU .....</b>                | <b>79</b>  |
| 10.1      | KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....                                       | 79         |
| <b>11</b> | <b>TEPELNÉ PARAMETRY RODINNÉHO DOMU.....</b>                  | <b>83</b>  |
| 11.1      | STANOVENÍ SOUČinitele PROSTUPU TEPLA.....                     | 83         |
| 11.2      | STANOVENÍ TEPELNÝCH ZTRÁT A ZÁTOPOVÉHO TEPELNÉHO VÝKONU ..... | 85         |
| 11.3      | STANOVENÍ TEPELNÝCH ZISKŮ .....                               | 87         |
| <b>12</b> | <b>NÁVRH VYTÁPĚCÍ SOUSTAVY A OHŘEV TEPLÉ VODY .....</b>       | <b>89</b>  |
| 12.1      | NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA.....                                 | 89         |
| 12.2      | VYTÁPĚCÍ KOTEL NA PŘÍPRAVU VODY V OTOPNÉ SOUSTAVĚ .....       | 90         |
| 12.3      | POŽADAVKY NA PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY .....                        | 91         |
| 12.4      | NÁVRH SOLÁRNÍHO KOLEKTORU PRO OHŘEV TEPLÉ VODY .....          | 92         |
| 12.5      | NÁVRH TEPLOVZDUŠNÉHO VYTÁPĚNÍ.....                            | 93         |
| 12.6      | NÁVRH VZDUCHOTECHNICKÉHO CHLAZENÍ.....                        | 98         |
| 12.7      | NÁVRH ROZVODŮ VZDUCHOTECHNICKÉHO ZAŘÍZENÍ.....                | 101        |
| 12.8      | PODLAHOVÉ VYTÁPĚNÍ.....                                       | 102        |
| 12.9      | NÁVRH ZABEZPEČOVACÍCH ZAŘÍZENÍ.....                           | 104        |
| <b>13</b> | <b>NÁVRH DOMOVNÍCH ELEKTRICKÝCH ROZVODŮ.....</b>              | <b>107</b> |
| 13.1      | NÁVRH FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ .....                            | 113        |
| <b>14</b> | <b>NÁVRH INTELIGENTNÍCH ROZVODŮ KNX .....</b>                 | <b>115</b> |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 14.1      | NÁVRH OVLÁDÁNÍ VYTÁPĚCÍHO SYSTÉMU .....                   | 116        |
| 14.2      | NÁVRH OVLÁDÁNÍ SOLÁRNÍHO OKRUHU K OHŘEVU TEPLÉ VODY ..... | 118        |
| 14.3      | NÁVRH OVLÁDÁNÍ OSVĚTLENÍ.....                             | 118        |
| 14.4      | NÁVRH OVLÁDÁNÍ ŽALUZÍ.....                                | 119        |
| 14.5      | NÁVRH OVLÁDACÍHO SYSTÉMU SCADA .....                      | 119        |
| <b>15</b> | <b>NÁVRH BEZPEČNOSTNÍCH SYSTÉMŮ EZS A EPS.....</b>        | <b>125</b> |
| 15.1      | NÁVRH ELEKTRONICKÉ ZABEZPEČOVACÍ SIGNALIZACE .....        | 125        |
| 15.2      | NÁVRH ELEKTRONICKÉ POŽÁRNÍ SIGNALIZACE .....              | 126        |
| <b>16</b> | <b>TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ PROJEKTU .....</b>      | <b>129</b> |
| 16.1      | NÁKLADY NA VYTÁPĚNÍ A OHŘEV TEPLÉ VODY .....              | 129        |
| 16.2      | SROVNÁNÍ NÁKLADŮ S TRADIČNÍM ŘEŠENÍM.....                 | 132        |
| 16.3      | NÁKLADY NA INTELIGENTNÍ ELEKTROINSTALACI .....            | 132        |
| 16.4      | CELKOVÉ HODNOCENÍ NÁVRHU INTELIGENTNÍHO DOMU .....        | 133        |
|           | <b>ZÁVĚR .....</b>  | <b>134</b> |
|           | <b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....</b>                            | <b>136</b> |
|           | <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>                     | <b>138</b> |
|           | <b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>           | <b>142</b> |
|           | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>                               | <b>143</b> |
|           | <b>SEZNAM TABULEK.....</b>                                | <b>145</b> |
|           | <b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>                                 | <b>147</b> |
|           | <b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>                                 | <b>148</b> |

## ÚVOD

Způsob bydlení se datuje již od dávných dob a společně se rozvíjí s vývojem lidské populace a nutností zvyšovat požadavky na komfort a pohodlí. Počátky inteligentních budov sahají do 80. let minulého století. Jejich význam se do jisté míry různil. Zprvu se inteligentní budovy definovaly jako budovy s automaticky řízenými systémy určené ke konkrétnímu účelu, později se však tyto systémy naučily reagovat na měnící se vlivy a potřeby člověka.

V dnešní době se inteligentní budovy skloňují ve všech pádech, ale jejich přesný význam není jasně definován. Všechny názory ovšem mají společný základ. Inteligentní dům je druh budovy, která dokáže zajistit pohodlné bydlení s minimálními provozními náklady a zároveň dokáže zajistit maximálním možným pocit bezpečí a komfortu. Takový komfort zajistí řídicí systém podle aktuálních potřeb obyvatel a dokáže se řídit i bez jejich zásahu. Automatizované řídicí systémy umí zajistit celkově úsporný a šetrný provoz dnešních domů. Takto vybavený dům dokáže žít vlastním životem a je schopen reagovat na změny vnitřních a vnějších klimatických podmínek v podobě proměnlivého počasí, tlaku nebo teploty během celého roku. Inteligentní domy jsou ve většině případů vybaveny obnovitelnými zdroji energie v podobě tepelného čerpadla nebo solárního systému na ohřev teplé vody a výrobu elektřiny.

Další představa inteligentního domu je budova, která navíc splňuje požadavky energetické náročnosti. Konstrukce domů jsou postaveny z moderních materiálů, které mají výborné tepelněizolační vlastnosti. Budovy se vyznačují jednoduchými tvary, aby se omezil vznik tepelných mostů, které jsou příčinou úniku využitelného tepla.

Cílem je tedy vytvořit takový dům, ve kterém lze najít kompromis v řešení moderního života zajišťující komfort dnešního bydlení v podobě tepelné pohody a příznivého vnitřního mikroklimatu společně s ohledem na požadavky vysokého využití energií za minimální provozní náklady pomocí moderních řídicích systémů, které pomáhají ovládat celou skupinu integrovaných systémů.

Práce popisuje návrh nízkoenergetického inteligentního domu zahrnující popis vnitřních a vnějších klimatických podmínek, na základě kterých jsou dimenzovány systémy techniky tvořící vnitřní prostředí, které jsou dále řízeny automatizovaným systémem.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 TYPY ENERGETICKY ÚSPORNÝCH BUDOV

Současné budovy lze rozdělit do pěti základních skupin: starší domy z druhé poloviny minulého století, novostavby a moderní výstavby, nízkoenergetické domy, pasivní domy a nulové domy. Nemusí se ovšem jednat jen o rodinné domy, ale také budovy pro kolektivního charakteru, jako jsou například školy nebo administrativní budovy. Dnes se však při výstavbě lze setkat pouze s nízkoenergetickými, pasivními a nulovými domy.

### 1.1 Nízkoenergetické domy

Domy tohoto typu mohou být postaveny z nejrůznějších materiálů. Jako nejvyužívanější můžeme uvést převážně tvárnice, vápencové bloky, děrované cihly nebo dřevo. Naopak méně vhodné jsou materiály s malou akumulací schopností.

Celkové provozní náklady jsou až téměř poloviční v porovnání s tradičním domem. Technologie nízkoenergetických domů dokáží ušetřit téměř dvě třetiny energie spotřebované na vytápění a provoz objektu.

Dle platných českých norem se celková spotřeba nízkoenergetického domu musí pohybovat do  $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ . [1]

### 1.2 Pasivní domy

Hlavní podstatou pro úsporu energie tohoto druhu domu jsou především kvalitní tepelná izolace, vzduchotechnické prvky například s rekuperací vzduchu a odpadního teplého vzduchu a také vzduchotěsnost. Vytápění bývá prováděno teplovzdušným větráním. V letních měsících je vzduch ochlazován vzduchotechnickým a klimatizačním systémem.

Spotřebovaná celková energie v pasivním domě by neměla překročit limitní hranici  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ . [2],[3]

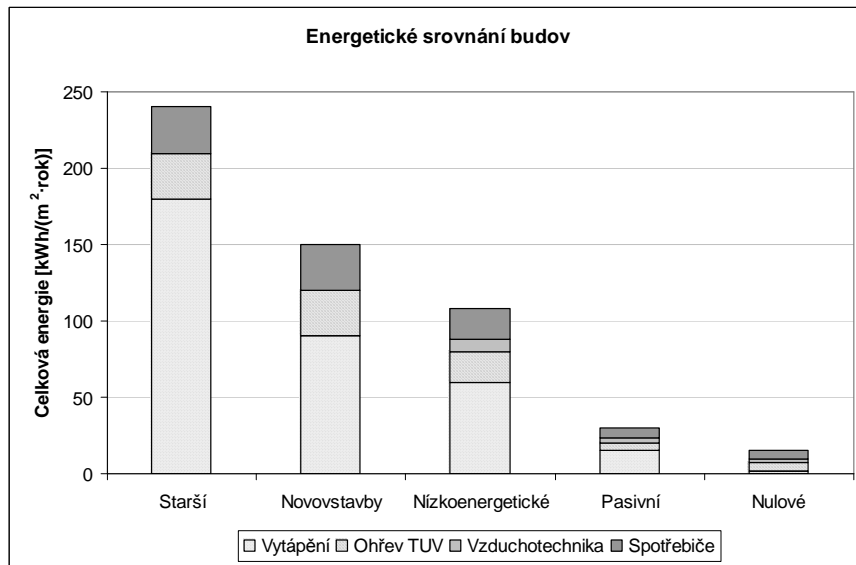
### 1.3 Nulové domy

U tohoto typu domu je kladen vysoký důraz na tepelnou izolaci a také na zdroje vlastní energie v podobě fotovoltaických panelů. Jeden z druhů nulových domů, lze označit jako tzv. aktivní dům, který je schopen pokrýt veškerou energetickou zátěž budovy pomocí vnějších energetických zisků, a zbytkovou energii dodávat do rozvodné sítě.[4]

Tyto domy mají mít spotřebu energie pro vytápění do 5 kWh/(m<sup>2</sup>·rok).

Tab. 1. Rozdělení budov podle spotřeby energie [1],[2],[3],[4]

| Typ                   | Charakter budovy   | Spotřeba tepla [kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)] |
|-----------------------|--|--|
| Starší budovy         | Spotřeba tepla je v mnoha případech více než dvakrát větší. Využívá se zastaralá topná soustava, nezateplená stavba nebo vysoké emise.                             | až 250                                     |
| Novostavby            | Většina postavených domů. Vytápění je zajištěno vysoko výkonovým kotlem, tepelně-izolační parametry splňují požadavky normy.                                       | 51 - 150                                   |
| Nízkoenergetické domy | Domy využívající obnovitelných zdrojů energie, lepší tepelně-izolační vlastnosti než u novostaveb, řízené větrání, vytápění je zajištěno nízkoteplotním zdrojem.   | 16 - 50                                    |
| Pasivní domy          | Domy náročnější postupy při plánování a výstavbě. Využití teplovzdušného vytápění s rekuperačními jednotkami, výborné tepelně-izolační parametry a těsnost budovy. | 6 - 15                                     |
| Nulové domy           | Speciální stavby s nulovou spotřebou energie na vytápění. Velké využití obnovitelných zdrojů energie. Lepší parametry než u pasivních domů.                        | 0 - 5                                      |



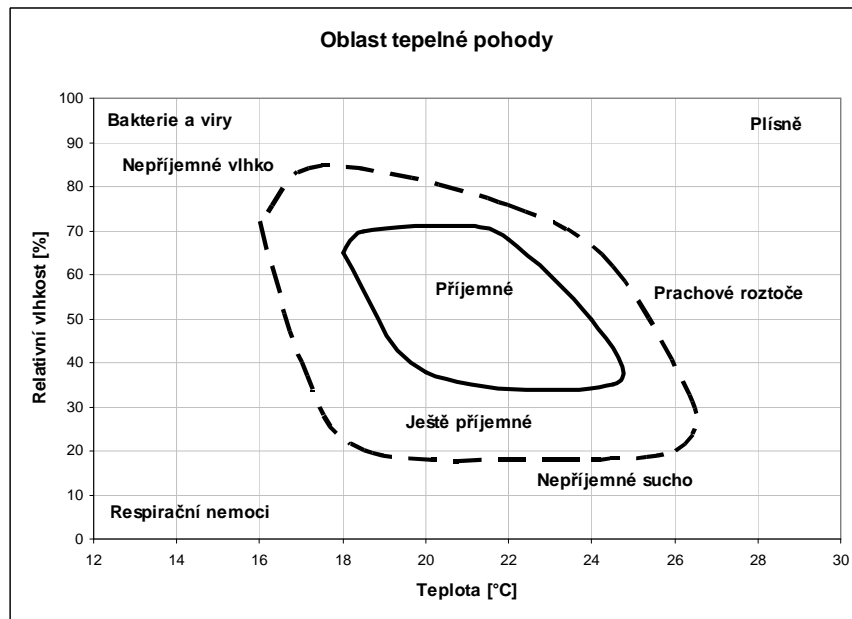
Graf 1. Energetické srovnání budov

## 2 VNITŘNÍ KLIMATICKÉ PODMÍNKY V BUDOVĚ

V dnešní moderní době nelze vytvořit příjemné místo k pobytu osob ani s nejmodernější technikou, pokud nejsou dodrženy vhodné klimatické podmínky, proto jedním z hlavních cílů je vybudovat místo s co nejpříjemnějším prostředím. Parametry pro správné podmínky prostředí jsou zahrnuty v normě ČSN 73 0540 [6],[7],[8] a normě v ČSN EN ISO 7730 [9]. Jedná se především o požadavky na součinitel prostupu tepla, tepelnou stabilitu, teplotu vnitřních povrchů, množství vodní páry v konstrukcích spojené s jejich omezením nebo energetická náročnost budovy.

### 2.1 Tepelná pohoda

Tepelnou pohodu lze označit jako stav, který vyjadřuje spokojenost s daným teplotním klimatem vycházející ze subjektivního hodnocení osob. Toto hodnocení však znesnadňuje vytvořené mikroklima prostředí. Je tedy nutné správně stanovit vstupní parametry systému, které jsou následně zhodnoceny s ohledem na způsob efektivního řízení těchto parametrů a nejnižší spotřebu energie při zachování požadovaných podmínek tak, aby bylo dosaženo tepelné pohody člověka. Tepelná pohoda je pro každého člověka individuální tělesný vjem, který pociťuje při odlišném klimatu prostředí. Tepelná pohoda člověka je především závislá na teplotě vzduchu a relativní vlhkosti. Následující graf vychází z H-x diagramu a znázorňuje oblast, která je pro člověka příjemná nebo naopak nepříjemná. [5]



Graf 2. Oblast tepelné pohody

Má-li být vytvořeno prostředí, které by nezpůsobovalo zvyšování tělesné teploty, je nutné odvádět vyprodukované tělesné teplo. Ne však příliš rychle, aby nedocházelo k pocitu chladu a snížení tělesné teploty, ale ani příliš slabě, aby nedocházelo k přehřívání organismu. To by nevedlo k požadovanému stavu. [5]

Vlivy výměny tepla mezi prostředím a tělem, lze rozdělit do dvou kategorií, na faktory osobní a faktory prostředí.

**Faktory osobní** – Jedná se o individuální pocit každého jedince.

- Energetický výdej člověka  $M$  [W/m] – Tepelný výkon člověka v závislosti na osobní dispozici, na jeho tělesné aktivitě a na podmínkách, ve kterých se daná osoba nachází.
- Tepelný odpor oděvu  $R$  [(m<sup>2</sup>·K)/W] – Veličina odpovídající tepelně izolačním vlastnostem pánského obleku společně s bavlněným oblečením. Ke stanovení tepelné pohody je zavedena jednotka clo, kde jeden clo odpovídá hodnotě  $R_{clo} = 0,155 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) / W}$ .

Tab. 2. Tepelný odpor oděvu

| Druh oděvu   | I [clo] |
|--|---------|
| Letní (prádlo, krásky, krátký rukáv)               | 0,5     |
| Běžný (spodní prádlo, kalhoty, dlouhý rukáv, sako) | 1       |
| Zimní (kabát)                                      | 2       |

**Faktory prostředí** – Jedná se o hodnoty na sobě nezávislé, objektivní a měřitelné.

- Teplota vzduchu  $\theta_a$  [°C] – Teplota vzduchu bez vlivu tepelného sálání okolních ploch v interiéru. [6, str.49]
- Relativní vlhkost vzduchu  $\varphi$  [%] – Údaj odpovídající obsahu vodní páry ve vzduchu v závislosti s teplotou interiéru. Pohybuje-li se vlhkost mezi 30% - 70% je její působení na vnímání teploty nevýrazné. [6, str.39-40], [10 str.17]
- Střední radiční teplota  $\theta_r$  [°C] – Společná teplota všech povrchů stěn, podlahy a stropu v místnosti, při níž by byl přenos tepla z těla radiací totožný jako skutečný.[6, str.50]
- Rychlost proudění vzduchu  $w$  [m/s] – Veličina výrazně ovlivňující osobní vnímání teploty vzduchu v prostředí, která je určena směrem a velikostí.

Tepelnou pohodu lze hodnotit pomocí několika kritérií:

**Operativní teplota** – je definována jako jednotná teplota uzavřeného černého tělesa o stejné teplotě vzduchu a stejné radiční teplotě, v němž by lidské tělo sdílelo radiací i konvekcí stejné množství tepla jako ve skutečném teplotně nehomogenním prostředí. Operativní teplotu lze vypočítat z rovnice (1) za předpokladu, že rychlost proudění vzduchu je vyšší než 0,2 m/s nebo teplotní rozdíl mezi střední radiční teplotou  $\theta_r$  a teplotou vzduchu  $\theta_a$  je vyšší než 4 kelviny. V opačném případě lze operativní teplotu vypočítat jako aritmetický průměr teplot  $\theta_r$  a  $\theta_a$  za jednu osmihodinovou směnu, resp. průměr měřené teploty v intervalu nejdéle jedné hodiny. [6, str.50]

$$\theta_0 = \frac{h_c \theta_a + h_r \theta_r}{h_c + h_r} \text{ [°C]} \quad (1)$$

$$\theta_0 = \theta_r + A \cdot (\theta_a - \theta_r) [^{\circ}\text{C}] \quad (2)$$

$\theta_a$  – teplota vzduchu [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\theta_r$  – střední radiační teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$h_c$  – součinitel prostupu tepla konvekcí [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ]

$h_r$  – součinitel prostupu tepla radiací [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ]

$A$  – součinitel rychlosti proudění vzduchu [-]

Tab. 3. Závislost součinitele  $A$  na rychlosti proudění vzduchu

|   |     |     |      |     |   |
|---|-----|-----|------|-----|---|
| <b>Rychlost proudění vzduchu</b>                            | 0,2 | 0,3 | 0,4  | 0,8 | 1 |
| <b>Součinitel rychlosti proudění vzduchu <math>A</math></b> | 0,5 | 0,6 | 0,65 | 0,7 | 1 |

**Index PMV** – Predicted Mean Vote – Ukazatel předpovídající střední tepelný pocit velké skupiny lidí. Index PMV lze vypočítat a stanovit z energetického výdeje člověka, jako je fyzická námaha a tepelný odpor použitého oděvu. Dále lze do výpočtu zahrnout teplotu vzduchu, střední radiační teplotu, vlhkost a rychlost proudění vzduchu. Střední tepelný pocit se stanovuje na sedmistupňové škále v rozmezí od -3 do +3, kde spodní hodnota -3 odpovídá pocitu zimy a opačná hodnota +3 odpovídá pocitu horka.[9, str.8-9]

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-0,036M} + 0,028) \cdot L \quad (3)$$

$M$  – energetický výdej člověka [W]

$L$  – rozdíl energetického výdeje a množství odvedeného tepla [W]

Tab. 4. Hodnoty indexu PMV

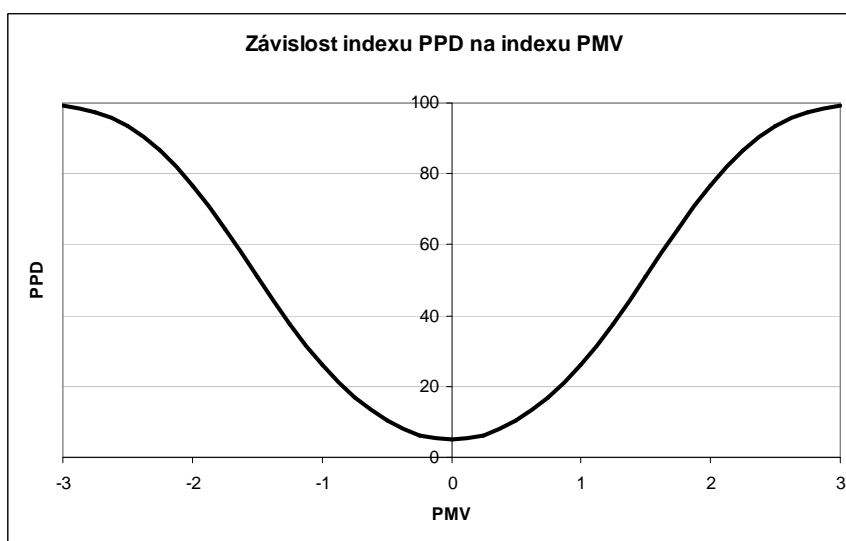
|                      |      |         |               |           |             |       |       |
|----------------------|------|---------|---------------|-----------|-------------|-------|-------|
| <b>Tepelný pocit</b> | Zima | Chladno | Mírně chladno | Neutrálně | Mírně teplo | Teplo | Horko |
| <b>Index PMV</b>     | -3   | -2      | -1            | 0         | 1           | 2     | 3     |

Tab. 5. Energetický výdej člověka

| Činnost              | Stupeň aktivity | Energetický výdej       |           |         |
|----------------------|-----------------|-------------------------|-----------|---------|
|                      |                 | $E$ [W/m <sup>2</sup> ] | $M$ [met] | $E$ [W] |
| Uvolněný sed         | 1               | 58                      | 1         | 100     |
| Lehká práce ve stoje | 2               | 81                      | 1,4       | 145     |
| Středně těžká práce  | 3               | 116                     | 2         | 200     |
| Těžká tělesná práce  | 4               | 165                     | 2,8       | 300     |

**Index PPD** – Predicted Percentage of Disappointed – Předpověď udávající procento osob, které budou s daným tepelným mikroklimatem nespokojeni. Znamená to tedy, že každý člověk vnímá teplotu prostředí rozdílným způsobem, jenž je zapříčiněn fyziologií, zdravotním a psychickým stavem jedince. Není možné zajistit rovnocennou tepelnou pohodu a komfort celé skupině osob.[9, str.9-10]

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{(-0,03353 \cdot PMV^4 + 0,02179 \cdot PMV^2)} \quad (4)$$



Graf 3. Závislost indexu PPD na indexu PMV

**Relativní vlhkost vzduchu** – Hodnota udávající poměr mezi množstvím vodní páry ve vzduchu a množstvím páry, které by měl vzduch o stejné teplotě a tlaku při plném nasycení. Zdrojem vodní páry mohou být činnosti, jako je sprchování (2600 g/h) nebo vaření (1500 g/h), ale i pokojové rostliny (20 g/h) a také samozřejmě sám člověk, který v

závislosti na intenzitě práce a okolní teplotě prostředí vydává vodní páru až ve stovkách gramů za hodinu. V zimním období zpravidla dochází k nízké relativní vlhkosti vzduchu a vysušování vzduchu v důsledku vysokých teplot otopných těles ústředního topení v místnosti. Relativní vlhkost, která překročí hranici pod 30%, může přinášet zvyšující se prašnost prostředí nebo vysychání sliznice dýchacích cest. Naopak vysoká relativní vlhkost vzduchu, nad 70%, může společně s vysokou teplotou vyvolat pocit dusna a možnost vzniku plísní.[10, str.17, str.20]

**Škodliviny a jejich koncentrace** – Jedná se o znečištění ovzduší v podobě produktů z biologických nebo technologických procesů v podobě tuhých, kapalných a plynných částic. Nejznámějšími průmyslovými škodlivinami jsou především popílek, prachové částice, kouř, páry, aerosoly a bakterie. V průmyslových oblastech nelze tyto škodliviny z prostředí vyloučit, proto se do těchto rizikových oblastí zavádí systém nuceného větrání zajišťující odvod nahromaděných škodlivin v ovzduší na pracovišti a přívod čerstvého vzduchu z vnějšího prostředí. Správná intenzita výměny vzduchu zabezpečuje přípustný limit škodlivin na pracovišti. [11]

S množstvím škodlivin v ovzduší blízce souvisí indexy NPK a PEL.

- NPK [ppm] – nejvyšší přípustná koncentrace – koncentrace chemické látky, které nesmí být vystavena osoba během jedné osmihodinové pracovní směny. V některých případech s ohledem na průměrnou koncentraci látky lze pobývat po dobu 15 minut s odstupem jedné hodiny, nanejvýše však čtyř patnáctiminutových úseků za jednu osmihodinovou směnu. [11]
- PEL [ppm] – přípustný expoziční limit – index udávající průměrné množství koncentrace chemické látky nebo prachu v ovzduší, kterým může být vystaven zaměstnanec během jedné osmihodinové směny v jednom týdnu, aniž by došlo k ohrožení pracovní schopnosti nebo k trvalému poškození zdraví. [11]

Tab. 6. PEL a NPK chemických látek v ovzduší na pracovišti

| Látka            | PEL<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | NPK<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | V jednotkách<br>[ppm] |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Aceton           | 800                         | 1500                        | 0,421                 |
| Arzen            | 0,1                         | 0,4                         | ---                   |
| Benzen           | 3                           | 10                          | 0,263                 |
| Fosfor           | 0,1                         | 0,3                         | 0,197                 |
| Chlor            | 1,5                         | 3                           | 0,344                 |
| Chrom            | 0,05                        | 0,1                         | ---                   |
| Olovo            | 0,05                        | 0,2                         | ---                   |
| Oxid siřičitý    | 5                           | 10                          | 0,382                 |
| Oxid uhelnatý    | 30                          | 150                         | 0,873                 |
| Oxid uhličitý    | 9000                        | 45000                       | 0,556                 |
| ozon             | 0,1                         | 0,2                         | 0,509                 |
| Rtuť             | 0,05                        | 0,15                        | 0,121                 |
| Technický benzin | 400                         | 1000                        | ---                   |
| Toluen           | 200                         | 500                         | 0,266                 |

**Akustika** – Zabývá se vznikem zvuku a jeho šíření v prostoru k posluchači. Ve spojení s technikou prostředí je významná stavební akustika, která se zabývá převážně zvukovými izolacemi a eliminacemi nežádoucího rušivého hluku šířeného z okolí nebo do okolí místnosti v budově. Stavební akustika je součástí stavební fyziky, zabývající se kvalitou vnějšího a vnitřního prostředí s ohledem na pracovní podmínky. Samotné šíření hluku mezi místnostmi je ovlivněno povahou zdroje zvuku a akustickými vlastnostmi stavebního materiálu. Příslušná norma řeší zvukovou izolaci spojovacích konstrukcí mezi vedlejšími místnostmi, která musí splňovat podmínku vzduchové neprůzvučnosti  $R_w = 53$  dB. Zvuková izolace tedy řeší schopnost snížit akustický výkon přenášený vzduchem nebo chůzí a nárazy ze sousední místnosti.

- **Šíření vzduchem** – zdrojem zvuku jsou převážně hlasové projevy lidí a reprodukce hudby do okolí. Zvuk se však šíří nejen vzduchem ale i konstrukcemi. Část akustických vln projde skrz konstrukce a část je od nich odražena zpět.
- **Šíření konstrukcí** – hluk šířený konstrukcí pochází se zdroje zvuku, který je přímo spojený se stěnou nebo podlahou sousední místnosti, do níž je hluk přenášen. Zdrojem zvuku jsou mechanické impulsy, jako je chůze nebo pády předmětů na podlahu. Zvuk je šířen chvěním stavební konstrukce.

Základní veličiny ovlivňující stavební akustiku jsou akustický výkon, popisující zdroj hluku, akustický tlak, zkoumající změnu tlaku vzduchu, a intenzita zvuku, charakterizující úroveň zvuku v dané vzdálenosti od zdroje šíření. Jejich referenční hodnoty jednotlivých veličin jsou uvedeny v tabulce (Tab. 7). [10 str.18, str.21]

Tab. 7. Referenční hodnoty akustiky

| Veličina        | Hodnota  |
|-----------------|--|
| Akustický výkon | $P_{REF} = 10^{-12} \text{ W}$                     |
| Akustický tlak  | $P_{REF} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$             |
| Intenzita zvuku | $I_{REF} = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ |

**Osvětlení** – Osvětlení ve vnitřním prostředí je možné rozdělit na osvětlení přirozené, umělé a sdružené. Lidé tráví až 90 % svého času v interiérech budov, proto je důležité správné osvětlení. Dostatek světla povzbuzuje náladu a dokresluje atmosféru prostředí, což vede k pozitivní motivaci člověka dobře odvádět svou práci a snižuje tak riziko chyb a pracovních úrazů. [10 str.18]

- Umělé osvětlení – Mezi umělé osvětlení lze zařadit žárovky, LED osvětlení nebo zářivky, tedy zdroje světla, které jsou tvořeny elektrickými komponentami.
- Přirozené osvětlení – Jedná se o všechno dopadající světlo přímého slunečního záření nebo slunečního záření rozptýlené atmosférou.
- Sdružené osvětlení – kombinace přirozeného a umělého osvětlení.

## 2.2 Větrání objektu a jeho optimální mikroklimatické podmínky

Důležitou součástí mikroklimatických podmínek je správné větrání objektu resp. správná výměna vzduchu vzhledem k subjektivnímu pocitu člověka a povaze jeho vykonávané činnosti. Pro optimální mikroklimatické podmínky je základem dodávka čerstvého vzduchu s koncentrací oxidu uhličitého nepřekračující 0,1 % v celkovém objemu interiéru. Vzduch obsažený v interiéru musí být vyměňován s danou intenzitou (5) a objemovým tokem (6) přiváděného čerstvého vzduchu, který je v případě potřeby navíc upraven.

$$n = \frac{\dot{V}_E}{V} [\text{h}^{-1}] \quad (5)$$

$n$  – intenzita větrání [ $\text{h}^{-1}$ ]

$\dot{V}_E$  – objemový tok větracího vzduchu [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$V$  – Vnitřní objem místnosti [ $\text{m}^3$ ]

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}_{\text{ŠKOD}}}{k_I - k_A} [\text{m}^3/\text{h}] \quad (6)$$

$\dot{V}$  – minimální množství přiváděného vzduchu [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

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

$k_I$  – koncentrace odváděného vzduchu [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]

$k_A$  – koncentrace přiváděného vzduchu; obvykle venkovní vzduch [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]

Je-li vzduch přiváděn po dobu pobytu osob v místnosti, musí být intenzita větrání vyšší než požadovaná intenzita větrání stanovená předpisy pro minimální výměnu čerstvého vzduchu. Zároveň hodnota minimální výměny čerstvého vzduchu nesmí překročit svůj 1,5 násobek oproti intenzitě větrání (7). Pro obytné a obdobné budovy je minimální výměna čerstvého vzduchu  $0,3 \text{ h}^{-1}$  až  $0,6 \text{ h}^{-1}$ .

Nevyskytují-li se v místnosti žádné osoby, musí být intenzita větrání vyšší než  $0,1 \text{ h}^{-1}$ , není-li stanoveno jinak nadřazenými předpisy pro provozní, bezpečnostní nebo technologické podmínky. Omezí se tak nárůst škodlivin v době, kdy není místnost užívána. [7, str. 24-25]

$$n_N \leq n \leq 1,5n_N \quad (7)$$

$n$  – intenzita větrání

$n_N$  – intenzita větrání stanovená předpisy

Z rovnice (6) lze určit minimální množství přiváděného vzduchu do místnosti. Osoby se vyskytují v prostředí obsahujícím 21 % kyslíku, ve kterém za jednu hodinu každý člověk vydýchá přibližně  $0,5 \text{ m}^3$  vzduchu o koncentraci 4 % oxidu uhličitého. Hmotnostní tok vznikajících škodlivin je tedy  $0,02 \text{ m}^3/\text{h}$  oxidu uhličitého, jehož maximální koncentrace nesmí překročit 0,1 % celkového objemu místnosti. Po dosazení do rovnice tedy zjistíme, že minimální množství přiváděného vzduchu činí  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ .

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}_{\text{šKOD}}}{k_I - k_A} = \frac{0,02}{0,001 - 0,00035} = 30,77 \text{ m}^3/\text{h} \approx 30 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tab. 8. Množství čerstvého vzduchu na osobu

| Činnost               | Množství čerstvého vzduchu [m <sup>3</sup> /h] |
|-----------------------|--|
| Žádná činnost         | 30   |
| Práce v sedě          | 50   |
| Práce ve stoje, chůze | 70   |
| Těžká fyzická práce   | 90   |
| Koncertní haly        | 120  |

Nároky na mikroklima v interiéru budovy tedy vychází z pocitů tepelné pohody jednotlivých osob, které se v dané lokalitě nacházejí. Dosáhneme-li požadované tepelné pohody, lze očekávat více než 80% spokojenost přítomné skupiny lidí s tímto mikroklimatem.

Tab. 9. Optimální mikroklimatické podmínky

| Kritéria                                 | Letní období | Zimní období |
|--|--------------|--------------|
| Operativní teplota [°C]                  | 23 - 26      | 20 - 24      |
| Relativní vlhkost [%]                    | 30 - 70      | 30 - 70      |
| Rychlost proudění vzduchu [m/s]          | 0,16 - 0,25  | 0,13 - 0,20  |
| Teplota podlahy [°C]                     | Netopí se    | 19 - 26      |
| Rozdíl teploty od hlavy ke kotníkům [°C] | < 3          | < 3          |

### 3 VNĚJŠÍ KLIMATICKÉ PODMÍNKY

Na každý dům působí vnější klimatické podmínky, které přímo ovlivňují klimatické podmínky uvnitř objektu. Vnější klima je podmíněno několika faktory, mezi které patří vnější klimatická teplota, vlhkost vzduchu související s atmosférickými srážkami, směr a rychlost proudění větru a také sluneční záření.

**Vnější klimatická teplota** – Jde o základní veličinu, která slouží při návrhu vzduchotechnických soustav. Jedná se o průměr pěti nejchladnějších po sobě jdoucích dní v zimním období zjištěných dlouhodobým meteorologickým měřením. Z tohoto sledování bylo zjištěno, že nejnižší teploty je dosaženo ve 3 hodiny, nejvyšší v 15 hodin. V České republice jsou výpočtové teploty stanoveny dle lokality na  $-12^{\circ}\text{C}$ ,  $-15^{\circ}\text{C}$  a  $-18^{\circ}\text{C}$ . [8, str.24]

**Vlhkost vzduchu** – Vlhkost vzduchu ovlivňuje množství atmosférických srážek. Jejich zvýšení je příčinou zvýšeného obsahu vlhkosti v konstrukcích obvodových stěn. Se zvyšující se vlhkostí zároveň stoupá tepelná ztráta objektu. [10, str.17, str.20]

**Směr a rychlost větru** – Jedná se o klimatickou veličinu, která je přímo úměrná úrovni rozdílu tlaku vzduchu. Vítr působí na stav počasí, jeho vliv se projeví zejména v soustavách přirozeného větrání. Na území České republiky se rychlost větru pohybuje v rozmezí od 2 m/s do 8 m/s, v nárazových rychlostech až 18 m/s.

Rychlost větru slouží k výpočtu součinitele přestupu tepla. Pro tepelnou ztrátu se uvažuje hodnota součinitele přestupu tepla jako konstanta  $23 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})$ , které odpovídá vítr o rychlosti 3 m/s.

Uvažují-li se tepelné ztráty infiltrací, musí se ve výpočtu zohlednit intenzita rychlosti větru. Intenzita proudění větru je ovlivněna umístěním domu v krajině, která je rozdělena na normální krajinu a na krajinu s intenzivními větry. V normální krajině se uvažuje rychlost větru 4 m/s až 8 m/s, v krajině s intenzivními větry se rychlost pohybuje v rozmezí 6 m/s až 10 m/s. Oba druhy krajin se dále rozdělují na tři kategorie: chráněnou oblast, nechráněnou oblast a velmi nepříznivou oblast. [8, str.26]

**Tlak vzduchu** – Vzniká tíhou svislého sloupce vzduchu skrz celou atmosféru až k povrchu Země. Velikost atmosférického tlaku je ovlivněna teplotou vzduchu, obsahem vodní páry v atmosféře a zeměpisnou polohou. Úbytek tlaku vzduchu v nadmořské výšce do jednoho

kilometru je 1 hPa na 10 metrů výšky. Znamená to tedy, že na různých místech je naměřena rozdílná hodnota, proto se po dohodě stanovila hodnota normálního atmosférického tlaku na 1013,25 hPa, což odpovídá tlaku na úrovni hladiny moře.

**Sluneční záření** – Energie získaná ze slunečního záření je hlavní složkou zdroje tepla a světla. Intenzita slunečního záření se udává jako tzv. solární konstanta v hodnotách od  $1340 \text{ W/m}^2$  do  $1390 \text{ W/m}^2$ . Do budovy se sluneční energie sdílí konvekcí, ale také radiací skrz stěnové konstrukce a prosklené plochy. Množství tepelného toku je závislé na orientaci a geografické poloze domu a také na azimutu Slunce a stavu znečištění oblohy. Stav oblohy lze definovat součinitelem znečištění, který závisí na atmosférickém tlaku a obsahu nečistot v ovzduší. Nejnižších hodnot tento součinitel dosahuje v horských nadmořských výškách a venkovských oblastech. Nejvyšší znečištění je možno naměřit ve velkých městech a v průmyslových zónách. [8, str.26, str.69]

## 4 ZÁSADY VÝSTAVBY PRO KONSTRUKCE ÚSPORNÝCH DOMŮ

Hlavním úkolem u těchto typů konstrukcí je minimalizovat tepelné ztráty nebo efektivně využívat tepelné zisky. Správným provedením lze docílit až dvoutřetinové úspory energií, musí se však u projektování a výstavby nových domů dodržovat daná pravidla.

S konstrukčními systémy souvisí těsnost budovy. V praxi to znamená, že z domu nesmí unikat vzduch přes vzniklé spáry, kolem okenních ráků nebo křbovým rozvodem. Vznikala by tak zbytečná ztráta užitečné vytápěcí energie. Před dokončením stavby se provádí tzv. blower-door test. Test spočívá v měření rozdílů tlaků mezi interiérem a exteriérem budovy. Jedná se tedy o přetlakování domu vzduchem po uzavření všech oken a dveří, popřípadě komínkových průduchů. Nevýhodou blower-door testu je nalezení případných konkrétních netěsností. [14, str.6]

### 4.1 Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla je důležitým parametrem pro posuzování konstrukcí. Tento parametr se hodnotí podle dvou kritérií, která musí být současně splněna. Jedná se o požadavky a doporučení u jednotlivých konstrukcí a pro celkovou budovu pomocí průměrného součinitele prostupu tepla. Požadované hodnoty se užívají u hodnocení konstrukcí, které popisuje vyhláška č.268/2009 Sb. [41] Doporučené hodnoty jsou aplikovány na hodnocení konstrukcí, u kterých tomu nebrání legislativní, ekonomické nebo technické překážky.

Vytápěné budovy musí mít v interiéru návrhovou vnitřní relativní vlhkost do 60 %. Součinitel prostupu tepla na dané konstrukci musí být menší než požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla (8). [7, str. 12-18] [10, str.21-22]

$$U \leq U_N [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (8)$$

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

$U_N$  – požadovaný součinitel prostupu tepla [ $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ]

Součinitel prostupu tepla stanovuje množství tepla, které projde přes konstrukci a vyjadřuje tak kvalitu tepelně izolačních vlastností konstrukce. Součinitel prostupu tepla se vypočítá podle rovnice (9) nebo (10). [7, str. 12-18]

$$U_K = (R_{SI} + R_N + R_{SE})^{-1} \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]} \quad (9)$$

$U_K$  – součinitel prostupu tepla [W/(m<sup>2</sup>·K)]

$R_{SI}$  - tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně [(m<sup>2</sup>·K)/W]

$R_N$  – celkový tepelný odpor konstrukce [(m<sup>2</sup>·K)/W]

$R_{SE}$  - tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně [(m<sup>2</sup>·K)/W]

Tab. 10. Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce

| Typ konstrukce<br>pro zimní i letní období |                    | Tepelný odpor $R_{SI}$<br>[(m <sup>2</sup> ·K)/W] |
|--|--------------------|---|
| Svislá                                     |                    | 0,13  |
| Vodorovná                                  | Tepelný tok nahoru | 0,10  |
|  | Tepelný tok dolů   | 0,17  |

Tab. 11. Tepelný odpor na vnější straně konstrukce

| Typ konstrukce                 | Tepelný odpor $R_{SE}$<br>[(m <sup>2</sup> ·K)/W] |
|--------------------------------|---|
| Zimní období (do 1000 m.n.m.)  | 0,04  |
| Zimní období (nad 1000 m.n.m.) | 0,03  |
| Letní období                   | 0,07  |

$$U_K = \left( \frac{1}{h_I} + \sum \frac{S}{\lambda} + \frac{1}{h_E} \right)^{-1} \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]} \quad (10)$$

$U_K$  – součinitel prostupu tepla [W/(m<sup>2</sup>·K)]

$h_I$  – součinitel přestupu tepla na vnitřní straně [W/(m<sup>2</sup>·K)];  $h_I = 8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

$h_E$  – součinitel přestupu tepla na vnější straně [W/(m<sup>2</sup>·K)];  $h_E = 23 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

$S$  – tloušťka konstrukce [m]

$\lambda$  – součinitel tepelné vodivosti [W/(m·K)]

Požadovaný součinitel prostupu tepla lze stanovit pro dva druhy budov. Pro budovy s vnitřní návrhovou teplotou v rozmezí od 18 °C do 22 °C a pro venkovní teploty z tabulky (Tab. 12). Za tyto budovy se považují převážně budovy nevýrobní bytové, nevýrobní

nebytové, administrativní, školské, veřejně správní, stravovací, ubytovací, popřípadě zdravotnická zařízení nebo jiné budovy pokud v nich převažuje vnitřní návrhová teplota v tomto teplotním intervalu.

Pro budovy s různorodou převažující návrhovou vnitřní teplotou, ve kterých je požadovaný součinitel prostupu tepla roven násobku součiniteli prostupu tepla podle tabulky (Tab. 12) a součiniteli typu budovy (11). [7, str. 12-18]

$$U_N = U_{N,20} \cdot e_1 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]} \quad (11)$$

$U_N$  – požadovaný součinitel prostupu tepla [W/m<sup>2</sup>·K]

$U_{N,20}$  – součinitel prostupu tepla podle tabulky (Tab. 12) [W/m<sup>2</sup>·K]

$e_1$  – součinitel typu budovy dle rovnice (12) nebo dle tabulky (Tab. 13) [-]

$$e_1 = \frac{16}{\theta_{IM} - 4} \quad (12)$$

$e_1$  – součinitel typu budovy [-]

$\theta_{IM}$  – převažující návrhová teplota vnitřní teplota [°C]

Tab. 12. 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 $U_{REC,20}$ | Doporučené hodnoty (pasivní domy) $U_{REC,20}$ |
| Vnější stěna - těžká                                       | 0,30  | 0,25                            | 0,18 až 0,12                                   |
| Vnější stěna - lehká                                       | 0,30  | 0,20                            | 0,18 až 0,12                                   |
| Střecha plochá a se sklonem do 45°                         | 0,24  | 0,16                            | 0,15 až 0,10                                   |
| Střecha se sklonem nad 45° včetně                          | 0,30  | 0,20                            | 0,18 až 0,12                                   |
| Podlaha a stěna vytápěného prostoru k zemině               | 0,45  | 0,3                             | 0,22 až 0,15                                   |
| Strop a vnitřní stěna z vytápěného k nevytápěnému prostoru | 0,6   | 0,4                             | 0,30 až 0,20                                   |

Tab. 13. Hodnoty součinitele typu budovy

|   |      |      |         |      |     |      |
|---|------|------|---------|------|-----|------|
| <b>Převažující<br/>návrhová vnitřní<br/>teplota <math>\theta_{IM}</math> [°C]</b> | 16   | 17   | 18 - 22 | 23   | 24  | 25   |
| <b>Součinitel typu<br/>budovy <math>e_1</math> [-]</b>                            | 1,33 | 1,23 | 1       | 0,84 | 0,8 | 0,76 |

Pokud není možné prokazatelně dosáhnout požadované hodnoty součinitele prostupu tepla, musí být tato příčina odborně zdůvodněna a musí být zvolena nejlepší možná technická varianta řešení, tak aby nedocházelo k vadám a poruchám při užívání. Důvodem může být nedostatek prostoru pro umístění dostatečného množství tepelné izolace při energetické rekonstrukci budovy nebo osazení zvláštního konstrukčního prvku. Výjimečné nesplnění součinitele prostupu tepla je kompenzováno splněním požadovaného průměrného součinitele tepla.

Pro konstrukce vytápěných prostor s vnitřní relativní vlhkostí vzduchu nad 60 % se požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla stanoví jako nižší z hodnot a z podmínky pro zvýšenou vlhkost prostředí (13). [7, str. 12-18]

$$U_{\omega,N} = \frac{0,6 \cdot (\theta_I - \theta_\omega)}{R_{SI} \cdot (\theta_I - \theta_E)} [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (13)$$

$U_{\omega,N}$  – podmínka pro zvýšenou vlhkost prostředí

$\theta_I$  – návrhová vnitřní teplota [°C]

$\theta_E$  – návrhová vnější teplota vzduchu v zimním období nebo teplota přilehlých konstrukcí jako je teplota zeminy nebo teplota nevytápěné prostory v zimním období [°C]

$\theta_\omega$  – teplota rosného bodu [°C]

$R_{SI}$  – odpor přestupu tepla [(m<sup>2</sup>·K)/W]; pro výplně otvorů  $R_{SI} = 0,13$  (m<sup>2</sup>·K)/W, pro stavební konstrukce  $R_{SI} = 0,25$  (m<sup>2</sup>·K)/W.

Po stanovení součinitele prostupu tepla musí objekt splňovat podmínku (14) průměrného součinitele prostupu tepla budovy.

$$U_{EM} \leq U_{EM,N} [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (14)$$

$U_{EM}$  – průměrný součinitel prostupu tepla [W/m<sup>2</sup>·K]

$U_{EM,N}$  – požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla [ $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ]

Požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla se stanovuje pro dva typy budov. Pro obytné budovy s vnitřní návrhovou teplotou v rozmezí od  $18\text{ }^\circ\text{C}$  do  $22\text{ }^\circ\text{C}$  a s požadovaným průměrným součinitelem prostupu tepla do  $0,5\text{ }[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}]$ . Za tyto budovy se považují stejné budovy, jako u výpočtu požadovaného součinitele prostupu tepla.

Pro budovy s odlišnou převažující návrhovou vnitřní teplotou, ve kterých je požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla roven násobku součiniteli průměrného prostupu tepla podle tabulky a součiniteli typu budovy (15)(11). [7, str. 12-18]

$$U_{EM,N} = U_{EM,N,20} \cdot e_1 [\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}] \quad (15)$$

$U_{EM,N}$  – požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla [ $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ]

$U_{EM,N,20}$  – průměrný součinitel prostupu tepla obytných budov do  $0,5\text{ }[\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})]$

$e_1$  – součinitel typu budovy (12) nebo podle tabulky (Tab. 13) [-]

Průměrný součinitel obálky se dále stanovuje podle následujícího vztahu (16):

$$U_{EM} = \frac{H_T}{A} [\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}] \quad (16)$$

$U_{EM}$  – průměrný součinitel prostupu tepla

$H_T$  – měrná ztráta prostupem [ $\text{W}/\text{K}$ ]

$A$  – teplosměnná plocha obálky budovy, vypočtena součtem všech ploch [ $\text{m}^2$ ]

$$H_T = U \cdot A \cdot b [\text{W}/\text{K}] \quad (17)$$

$H_T$  – měrná ztráta prostupem [ $\text{W}/\text{K}$ ]

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

$A$  – teplosměnná plocha obálky budovy, vypočtena součtem všech ploch [ $\text{m}^2$ ]

$b$  – činitel teplotní redukce podle tabulky (Tab. 14) [-]

Tab. 14. Návrhové hodnoty činitele teplotní redukce

| Konstrukce                                 |                        | Činitel teplotní redukce $b$ [-] |                   |
|--|------------------------|----------------------------------|-------------------|
|  |                        | Vytápěné                         | Částečně vytápěné |
| Okna, dveře aj.                            |                        | 1,15                             | 0,52              |
| Střechy a stropy nad venkovním prostředím  |                        | 1,00                             | 0,71              |
| Lehké obvodové pláště                      |                        | 1,00                             | 0,71              |
| Půda, podstřeší prostor                    | neizolované, netěsněné | 0,83                             | 0,54              |
|  | neizolované, těsněné   | 0,74                             | 0,46              |
|  | izolované, těsněné     | 0,57                             | 0,29              |
| Suterén, technické podlaží                 | zcela pod terénem      | 0,43                             | 0,14              |
|  | zčásti nad terénem     | 0,49                             | 0,20              |
|  | odvětrané              | 0,57                             | 0,29              |
| Nadzemní přilehlá garáž, zimní zahrada aj. |                        | 0,49                             | 0,20              |

## 4.2 Vlhkostní vlastnosti konstrukce

Vzniklá vodní pára může uvnitř konstrukce ohrozit její požadovanou funkci, jako je podstatné zkrácení předpokládané životnosti, snížení vnitřní povrchové teploty vedoucí ke vzniku plísní nebo nežádoucí zvýšení hmotnosti. Ve stavební konstrukce nesmí tedy docházet ke kondenzaci.

$$M_C = 0 \quad (18)$$

$M_C$  – roční množství zkondenzované vodní páry [kg/(m<sup>2</sup>·rok)]

U konstrukcí, kde vlhkost neohrožuje její požadovanou funkci, se požaduje omezení ročního množství zkondenzované vodní páry v konstrukci.

$$M_C \leq M_{C,N} \quad (19)$$

$M_C$  – roční množství zkondenzované vodní páry [kg/(m<sup>2</sup>·rok)]

$M_{C,N}$  – maximální hodnota ročního množství zkondenzované vodní páry [kg/(m<sup>2</sup>·rok)]

Pro jednoplášťovou střechu, konstrukci se zabudovanými dřevěnými prvky, popř. jinou obvodovou konstrukcí s difúzně málo propustnými vnějšími povrchovými vrstvami je nižší z hodnot (20) nebo 3 % plošné hmotnosti materiálu, kde dochází ke kondenzaci a jeho objemová hmotnost je vyšší než 100 kg/m<sup>3</sup>. U objemové hmotnosti nižší než 100 kg/m<sup>3</sup> se použije 6 % jeho plošné hmotnosti. Pro ostatní konstrukce je nižší z hodnot (21) nebo 5 % plošné hmotnosti materiálu, kde dochází ke kondenzaci a jeho

objemová hmotnost je vyšší než  $100 \text{ kg/m}^3$ . U objemové hmotnosti nižší než  $100 \text{ kg/m}^3$  se použije 10 % jeho plošné hmotnosti.

$$M_{c,N} = 0,10 \frac{\text{kg}}{(\text{m}^2 \cdot \text{a})} \quad (20)$$

$$M_{c,N} = 0,50 \frac{\text{kg}}{(\text{m}^2 \cdot \text{a})} \quad (21)$$

Roční množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce musí být nižší než roční množství vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukce.

$$M_c \leq M_{ev} \quad (22)$$

$M_C$  – roční množství zkondenzované vodní páry [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ ]

$M_{EV}$  – roční množství vypařitelné vodní páry [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ ]

Tyto požadavky se uplatňují pro vnější i vnitřní konstrukce, kromě konstrukcí přilehlých k zemině, které se hodnotí bilančními výpočty po měsících.

U konstrukcí s větranou vzduchovou vrstvou se samostatně hodnotí souvrství od vnitřní strany k větrné vrstvě a souvrství od větrané vzduchové vrstvy k venkovnímu vzduchu. Každé souvrství se tedy hodnotí zvlášť. Vlhkost proudícího vzduchu ve větrané vzduchové vrstvě musí splňovat podmínku  $\phi < 90\%$ , a to i případě bezvětří. Při nesplnění hrozí kondenzace vodní páry ve vzduchové větrané vrstvě a přilehlém povrchu vnější části konstrukce. U šikmých a vodorovných ploch pak riziko odkapávání a zvlhčování materiálu pod vzduchovou vrstvou. [7, str. 21-22]

### 4.3 Tepelná stabilita místnosti

Stabilita místnosti se rozděluje podle období na zimní a letní. V zimním období se požaduje, aby kritická místnost v budově splňovala podmínku (23) a na konci chladnutí měla pokles konečné teploty dle tabulky (Tab. 15).

$$\Delta\theta_v \leq \Delta\theta_{v,N} [^\circ\text{C}] \quad (23)$$

$\Delta\theta_v$  – pokles konečné teploty [ $^\circ\text{C}$ ]

$\Delta\theta_{v,N}$  – požadovaný pokles konečné teploty dle tabulky (Tab. 15) [ $^\circ\text{C}$ ]

Tab. 15. Hodnoty poklesu konečné teploty

| Druh místnosti s pobytem osob                         | Pokles teploty $\Delta\theta_{V,N}$ [°C] |
|---|--|
| Vytápěná radiátory, sálavými panely nebo teplovzdušně | 3  |
| Vytápěna podlahovým vytápěním nebo kamny              | 4  |

Za kritickou místnost se považuje prostora s největším průměrným součinitelem prostupu tepla konstrukcí. Stanovené hodnocení tepelné stability předpokládá, že výkon vytápěcí soustavy je v době chladnutí zimního období nulový. Jestliže je možné pro kritickou místnost stanovit více požadovaných hodnot podle tabulky (Tab. 15), potom se místnost ověřuje pro nejnižší těchto hodnot. [7, str. 25-26]

V letním období se tepelná stabilita v kritické místnosti ověřuje podle nejvyšší denní teploty vzduchu, která nesmí být v obytných prostorách vyšší než 27°C, musí být tedy opět splněna požadovaná podmínka (24). Není-li tato podmínka splněna, doporučuje se objekt chladit a to jen v případech, pokud to nedovoluje např. stavební řešení. Budovy vybavené strojním chlazením musí v letním období splňovat podmínku nejvyšší teploty vzduchu, která se musí pohybovat do 32°C.

$$\Delta\theta_{I,MAX} \leq \Delta\theta_{I,MAX,N} \text{ [°C]} \quad (24)$$

$\Delta\theta_{I,MAX}$  – teplota vzduchu [°C]

$\Delta\theta_{I,MAX,N}$  – požadovaná nejvyšší teplota během dne [°C]

Kritickou místností se v letním období považuje místnost s největší osluněnou plochou výplní otvorů orientovaných na západ, jihozápad, jih, jihovýchod a východ v poměru k podlahové ploše přilehlého prostoru. Hodnocení místnosti se provádí se zanedbáním vnitřních zisků. Další požadavky pro letní období mohou být stanoveny zvláštním předpisem s ohledem na charakter provozu budovy např. obytná budova pro tělesně postižené. [7, str. 26-27]

#### 4.4 Tepelná ztráta místnosti

Tepelné ztráty jsou popsány v normě ČSN EN 12 831 [12]. Popsané metody výpočtu tepelných ztrát a tepelného výkonu jsou omezeny na standardní návrhové podmínky. Do standardních podmínek se zahrnuje výška místnosti, která nepřesahuje 5 metrů a způsob vytápění do ustáleného stavu.

Celková tepelná ztráta ve vytápěné místnosti je dána součtem návrhové tepelné ztráty prostupem tepla a návrhové tepelné ztráty větráním (25). [12, str.18]

$$\Phi_I = \sum \Phi_{T,I} + \sum \Phi_{V,I} \quad [\text{W}] \quad (25)$$

$\Phi_{T,I}$  – návrhová tepelná ztráta prostupem tepla ve vytápěné místnosti [W]

$\Phi_{V,I}$  – návrhová tepelná ztráta větráním ve vytápěné místnosti [W]

Tepelná ztráta prostupem tepla se stanovuje pro okolní konstrukce místnosti, které sdílejí teplo. Tepelná ztráta prostupem je závislá především na izolačních vlastnostech objektu a venkovní návrhové teplotě. Hodnota této tepelné ztráty se vypočítá podle rovnice (26). Výpočet se provádí zvlášť pro každou konstrukci v místnosti. Součtem těchto dílčích hodnot se získá celková tepelná ztráta prostupem pro místnost nebo objekt. [12, str.18]

$$\Phi_{T,I} = \sum [f_K \cdot A_K \cdot U_K \cdot (\theta_I - \theta_E)] \quad [\text{W}] \quad (26)$$

$\Phi_{T,I}$  – tepelná ztráta prostupem tepla [W]

$f_K$  – teplotní korekční činitel [-]

$A_K$  – plocha místnosti nebo objektu [m<sup>2</sup>]

$U_K$  – součinitel prostupu tepla podle rovnice (10) [W/(m<sup>2</sup>·K)]

$\theta_I$  – výpočtová teplota interiéru [°C]

$\theta_E$  – výpočtová teplota exteriéru [°C]

Druhou složkou celkových tepelných ztrát je tepelná ztráta větráním. U kvalitně zaizolovaných domů je tepelná ztráta větráním velmi důležitý požadavek z důvodu hygienických kritérií a zajištění tepelné pohody. V moderních domech lze využívat teplovzdušného vytápění s přívodem a odvodem vzduchu, jedná se tak o nucené větrání pomocí ventilační jednotky vybavené rekuperátorem. Nejnižší hodnota intenzity výměny vzduchu, podle normy ČSN 12 831 [12], je pro obytné budovy 0,5 h<sup>-1</sup>. V praxi to znamená,

že každou hodinu je potřeba vyměnit polovinu celkového objemu vzduchu v objektu, popř. v samotné vytápěné místnosti.

Tepelnou ztrátu nuceným větráním pro vzduchotechnický systém, který dokáže místnosti jak vytápět, tak i chladit, lze vypočítat podle rovnice.

$$\Phi_{V,I} = \frac{V}{3600} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (\theta_I - \theta_P) \text{ [W]} \quad (27)$$

$\Phi_{V,I}$  – tepelná ztráta větráním [W]

$V$  – průtok vzduchu [m<sup>3</sup>/h]

$c_p$  – měrná tepelná kapacita vzduchu [kJ/(K·K)]; 1010 kJ/(K·K)

$\theta_I$  – výpočtová teplota interiéru [°C]

$\theta_P$  – teplota přiváděného vzduchu dle rovnice (28) [°C]

Tepelná ztráta nuceným větráním vzduchotechnickým systémem zohledňuje kvalitu rekuperační jednotky. Jedná se o množství využití tepla z odpadního vzduchu, které je možné použít k ohřevu přiváděného čerstvého vzduchu. Množství tepla je ovlivněno nejen samotnou účinností rekuperační jednotky, ale také návrhovou teplotu interiéru a exteriéru vytápěné místnosti. [12, str.18-26]

$$\theta_P = \theta_E + \eta \cdot (\theta_I - \theta_E) \text{ [°C]} \quad (28)$$

$\theta_P$  – teplota přiváděného vzduchu [°C]

$\eta$  – účinnost rekuperátoru

$\theta_I$  – výpočtová teplota interiéru [°C]

$\theta_E$  – výpočtová teplota exteriéru [°C]

#### 4.5 Tepelné zisky od vnitřních a solárních zdrojů

Tepelné zisky od vnitřních zdrojů jsou rovny součtu všech jednotlivých vnitřních zdrojů tepla. Může se jednat o technologická zařízení, elektronické spotřebiče, zisky z teplé vody nebo vaření. Za vnitřní zisky lze považovat také produkci tepla od pohybujících se osob v budově. Tepelné zisky v budovách snižují účinek tepelných ztrát.

Tepelné zisky od osob jsou závislé na činnosti, kterou právě provozují. Tyto zisky ovlivňuje pouze citelné teplo, které je ovlivněno jak činností člověka, tak i teplotou vzduchu v interiéru. Produkce citelného tepla od muže je 62 W při mírně aktivní práci s teplotou vzduchu 20 °C. U žen je produkce rovna 85 % produkce citelného tepla muže, u dětí se produkce tepla pohybuje okolo 75 %.

Zdrojem tepelných zisků jsou také kancelářské a domácí spotřebiče. Jedná se hlavně o zisky z počítačů, audiovizuální techniky nebo také z vaření, žehlení a praní. Takto vytvořené zisky se mohou pohybovat až ve stovkách wattů. Podstatná část tepelných zisků pochází od osvětlení. Část elektrické energie se při svícení mění v teplo ohřívající okolní prostředí. Zisky od osvětlení jsou významné ve velkých objektech jako jsou divadla nebo koncertní a sportovní haly. S takto vyprodukovaným teplem se počítá zejména v objektech bez denního přísunu světla, tedy v době nejvyšších tepelných zisků.

Významnou složkou tepelných zisků jsou zisky z vnějších zdrojů, které vytváří především sluneční záření, to se mění v závislosti na ročním období. Tepelné zisky z oknem se rozdělují na zisky konvekcí (29) a radiací (30).

$$\dot{Q}_{KON} = U_O \cdot A_O \cdot (\theta_E - \theta_I) \text{ [W]} \quad (29)$$

$Q_{KON}$  – tepelný zisk konvekcí [W]

$U_O$  – součinitel prostupu tepla okna [W/(m<sup>2</sup>·K)]

$A_O$  – plocha okna s rámem [m<sup>2</sup>]

$\theta_E$  – výpočtová teplota exteriéru [°C]

$\theta_I$  – výpočtová teplota interiéru [°C]

$$\dot{Q}_{RAD} = [A_{OP} \cdot I_O \cdot c_O + (A_O - A_{OP}) \cdot I_{DIF}] \cdot \tau \text{ [W]} \quad (30)$$

$Q_{RAD}$  – tepelný zisk radiací [W]

$A_O$  – plocha okna s rámem [m<sup>2</sup>]

$A_{OP}$  – velikost osluněné plochy [m<sup>2</sup>]

$I_O$  – intenzita sluneční radiace skrz jednoduché zasklení [W/ m<sup>2</sup>]

$I_{DIF}$  – intenzita sluneční radiace získaná difúzí skrz jednoduché zasklení [W/ m<sup>2</sup>]

$c_O$  – korekční činitel čistoty atmosféry [-]

$\tau$  – stínící součinitel [-] ; určený podle rovnice (31)

$$\tau = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \dots \cdot \tau_N \quad (31)$$

Stínící součinitel je součin dílčích stínících prvků (Tab. 16) a vyjadřuje hodnotu radiace, která prochází přes zasklenou plochu v dané místnosti, v poměru k jednoduchému zasklení. [13, str.47, str.52]

Tab. 16. Hodnoty stínícího součinitele pro okna a stínící prvky

| Druh zasklení                    | $\tau$ | Stínící prostředky            | $\tau$ |
|----------------------------------|--------|-------------------------------|--------|
| Jednoduché sklo                  | 1      | Vnitřní žaluzie, světlé (45°) | 0,56   |
| Dvojitě sklo                     | 0,9    | Vnitřní žaluzie, tmavé (45°)  | 0,75   |
| Jednoduché determální sklo       | 0,7    | Vnější žaluzie, světlé (45°)  | 0,15   |
| Reflexní 1-sklo, průměrná jakost | 0,7    | Vnější markýzi                | 0,3    |
| Reflexní 2-sklo, výborná jakost  | 0,24   | Látkové závěsy                | 0,8    |

#### 4.6 Zátopový tepelný výkon

Zátopový tepelný výkon lze brát jako náhradu vlivu přerušovaného nebo tlumeného vytápění v interiéru. Tento druh výkonu je dán součinem plochy a korekčním činitelem místností závislým na zátopové době a předpokládaném poklesu teploty v době útlumu.

$$\Phi_{RH} = A_P \cdot f_{RH} \quad [\text{W}] \quad (32)$$

$\Phi_{RH}$  – zátopový tepelný výkon [W]

$A_P$  – plocha místnosti [m<sup>2</sup>]

$f_{RH}$  – korekční činitel dle tabulky (Tab. 17) [W/m<sup>2</sup>]

Korekční činitel je stanoven dle tabulky (Tab. 17) a je závislý na daných parametrech budovy. Tabulku korekčního činitele lze použít pro interiéry s výškou stropu do 3,5 metru, což odpovídá většině rodinných domů. [12, str.32]

Tab. 17. Hodnoty korekčního zátopového činitele

| Zátopový čas | $f_{RH} [W/m^2]$   |         |        |                 |         |        |                 |         |        |
|--------------|--|---------|--------|-----------------|---------|--------|-----------------|---------|--------|
|              | Předpokládaný pokles vnitřní teploty během teplotního útlumu |         |        |                 |         |        |                 |         |        |
|              | 2 K  |         |        | 3 K             |         |        | 4 K             |         |        |
|              | Hmotnost budovy  |         |        | Hmotnost budovy |         |        | Hmotnost budovy |         |        |
|              | Nízká  | Střední | Vysoká | Nízká           | Střední | Vysoká | Nízká           | Střední | Vysoká |
| 1            | 18   | 23      | 25     | 27              | 30      | 27     | 36              | 27      | 31     |
| 2            | 9  | 16      | 22     | 18              | 20      | 23     | 22              | 23      | 25     |
| 3            | 6  | 13      | 18     | 11              | 16      | 18     | 18              | 18      | 18     |
| 4            | 4  | 11      | 16     | 6               | 13      | 16     | 11              | 16      | 16     |

#### 4.7 Umístění budovy v terénu

Jeden ze základních požadavků pro umístění budovy je vhodná orientace a lokalita. Pro nízkoenergetické a pasivní domy jsou velmi významné zisky ze sluneční energie, které procházejí do interiéru přes prosklené plochy, přičemž nejvýznamnější jsou zisky z jižní strany domu. Je tedy nutné koncipovat umístění a orientaci domu tak, aby strana s největšími prosklenými plochami poskytovala dostatek soukromí a zároveň by neměla být zbytečně stíněna okolními stromy nebo zástavbou. Dalším vznikajícím problémem u prosklených ploch je možné přehřívání interiéru v letních měsících, to lze však jednoduše vyřešit žaluziemi, roletami nebo markýzami.

Vyhřívání místností v domě pomocí slunečního záření je spojeno s návrhem otopné soustavy. Vytápěné místnosti orientované k jižní straně se soustřeďují do jedné zóny, méně vytápěné místnosti k severní straně do zóny druhé.

Prosklená plocha (okno) není pouze zdrojem přírodního tepla, ale také příčinou tepelných ztrát. Těmito ztrátami, které mimo jiné vznikají na všech stěnách domu, se lze vyvarovat pomocí vhodné ochrany domu před venkovním větrem. Je tedy důležité, vyvarovat se případným netěsnostem, kterými může dovnitř pronikat chladný venkovní vzduch. [14, str.2-3]

#### 4.8 Kompaktní tvar budovy

Ve většině případů je snaha stavět úsporné domy jednoduchých tvarů, je tedy vhodné se vyvarovat výstupkům a výčnělkům. Omezí se tím vznik tepelných mostů, kterými

odchází užitečné teplo. Je též doporučeno stavět domy s nepříliš rozlehlým půdorysem, každé navýšení stěn je totiž nutné kompenzovat silnější vrstvou tepelné izolace.

Proti chladnému vzduchu z vnějšku je vhodné stavět ze severní strany domu nevytápěné prostory, jako je například garáž, sklad nebo komora. Vytvoří se tak nárazníková zóna. Společné stěny těchto prostor s domem samotným však musí být stejně dobře zateplený jako venkovní zdi, aby opět nedocházelo ke zbytečnému úniku tepla. [14, str.3]

## 4.9 Konstrukce a stěny domu

Základním prvkem nízkoenergetických domů je správná tepelná izolace venkovních zdí, ale i vnitřních konstrukcí mezi vytápěnými a nevytápěnými prostory. Dobře provedená tepelná izolace je důležitým aspektem k omezení tepelných mostů, kterým se nelze zcela vyhnout. Důkladnou izolaci musí mít také stěny a podlahy přilehlé k terénu, jelikož teplota v hloubce okolo 3 metrů se celoročně pohybuje od 5 °C do 10 °C. V případě domu vybaveného podlahovým topením se ani zde nesmí zapomenout na tepelnou izolaci, aby se zbytečně nevyhřívala přilehlá zemina pod objektem.

V dnešní době zatím neexistuje ideální konstrukční systém, který by splňoval v ideální míře jak izolační tak nosné vlastnosti konstrukce. Není tedy možné postavit zdi pouze z jednoho univerzálního materiálu, a proto se na tepelnou izolaci klade tak vysoký důraz. Obvodové stěny domu musí být dostatečně izolovány do celkové tloušťky 50 centimetrů. Samotná tepelná izolace bývá v rozmezí od 20 do 30 centimetrů, zbytek je tvořen samotným zdívem. Nejvýhodnějším řešením však je použít nosné zdivo, s ohledem na jeho nosné vlastnosti, s co neušším profilem.

Izolaci domu lze provést několika způsoby, mezi které patří například tzv. sendvičová konstrukce, která je tvořena izolací mezi dvěma vrstvami zdiva nebo lehkou vnější fasádou a zdívem. Dalším využívaným způsobem bývají kontaktní zateplení se sěrkovou omítkou, které mohou být případně doplněné o dřevěný nebo keramický obklad.

V neposlední řadě dnes i moderní dřevostavby nabízí širokou škálu možných způsobů konstrukcí. Rozšířeným řešením je nosná dřevěná konstrukce tvořená sloupky s prokládanou izolací. Venkovní ochrana stěny je tvořena deskami s omítkou nebo přírodním dřevěným obložením. Vnitřní plášť bývá také ze dřeva, sádrokartonu nebo

dřevovláknitými deskami. Známým způsobem je tzv. konstrukce z dřevěných panelů, která se podobá sendvičovému řešení.

Jsou-li kladeny vysoké požadavky na akumulární schopnosti, je možné použít cihlou přízdívku nebo vnitřní masivnější omítku. [14, str.4-6]

#### 4.10 Konstrukce prosklených ploch a oken

Nízkoenergetické domy se vyznačují hlavně velkými prosklenými plochami z důvodu tepelných a světelných zisků ze solárního záření. Toto zasklení musí být provedeno kvalitně kvůli těsnosti domu a snížení tepelných ztrát. Možností, jak tyto skutečnosti eliminovat, existuje hned několik. Jedním z řešení je použití klasických dvojskel či trojskel, popřípadě lze využít systém dvojskel s pokovenou vnitřní stranou, kde mezi těmito skleněnými deskami je implementována odrazová fólie. Takto zhotovená okna pracují jako polopropustné zrcadlo. Sluneční záření pronikne do interiéru a přemění se na teplo. Vzniklé tepelné záření však již zůstane uvnitř místnosti.

U okenních konstrukcí se musí dodržovat velikost mezery mezi skly, která musí mít svou určitou šířku, z důvodu dobré tepelné izolace. U trojskel mívá tato mezera okolo 16 milimetrů. Pro zlepšení izolace se vzduchová mezera mezi skly plní vzácnými plyny, především argonem. Ovšem i u nejkvalitnějších oken tento plyn pomalu uniká a je samovolně nahrazován vzduchem. Pro zlepšení těsnosti domu se některá okna instalují jako neotvíratelná s ohledem na jejich údržbu. Doporučuje se však ponechat alespoň jedno okno otevíratelné pro případ problému se vzduchotechnikou.

U prosklených ploch je důležité nejen provedení samotného zasklení, ale i konstrukce okenního rámu. Běžné okenní rámy mají výrazně horší izolační vlastnosti a vyšší riziko vzniku tepelných mostů, proto moderní okna dnes využívají mnohakeramových systémů ze dřeva nebo plastu obvykle s polyuretanovou izolací.

Důležitou částí okenního rámu je plastový nebo nerezový distanční rámeček. Ten však vždy přispívá k tvorbě tepelných mostů, je tedy vhodné zapustit tento rámeček hlouběji do okenního rámu. Sníží se tím i riziko vzniku kondenzace vodní páry na okenním zasklení. [14, str.5-6]

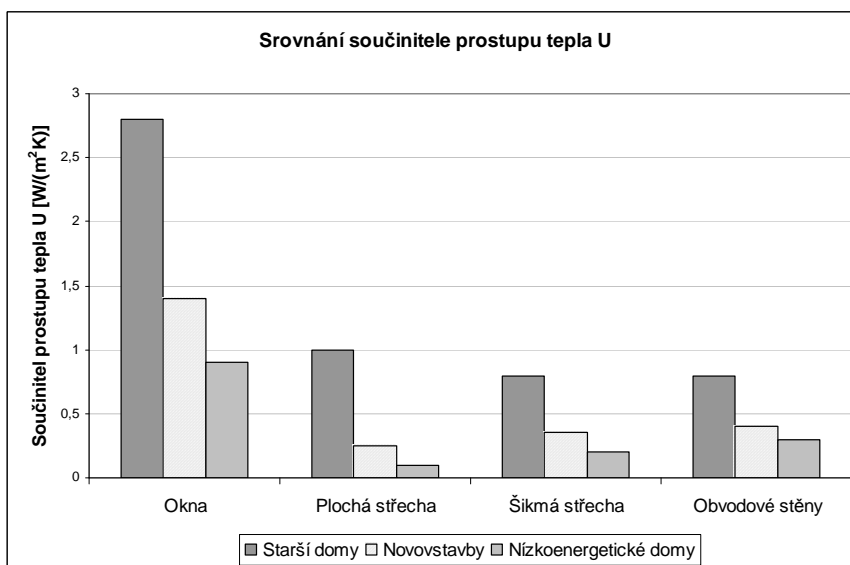
## 4.11 Konstrukce střechy

Střecha domu kryje celý prostor objektu a dělí se na tři základní druhy: na strmé, šikmé a ploché. Musí především plnit funkci hydroizolace. Má-li být zajištěn požadavek na teplotu vnitřního prostředí, tak musí splňovat i požadavky na správnou tepelnou izolaci.

Hydroizolace chrání vnitřní prostředí před průnikem vlhkosti ve formě klimatických srážek nebo tajícího sněhu a ledu. Hydroizolační vrstva může být skládaná nebo povlaková. Skládaná hydroizolační vrstva je nejvíce využívána u strmých a šikmých střech. Může být pálená, plastová, betonová, z přírodního kamene apod. Povlaková vrstva je běžně řešena asfaltovými pásy nebo plastovými foliemi z měkčeného PVC se syntetickou textilií.

Kromě hlavní hydroizolační vrstvy lze využít doplňkovou hydroizolační vrstvu, která plní funkci maximální ochrany při selhání hlavní hydroizolační vrstvy. Zachycuje srážkovou vodu pronikající vzniklými spárami, které se tvoří při extrémních meteorologických podmínkách pod skládanou krytinou.

Střecha musí být chráněna před vlhkostí vznikající v interiéru. K tomuto účelu slouží tzv. parozábrana, která omezuje nebo plně zabraňuje kondenzaci vodní páry ve střešní konstrukci. Parozábrana také plní vzduchotěsnicí funkci a zabraňuje tak úniku tepla z objektu do konstrukce střechy. [15]



Graf 4. Srovnání součinitele prostupu tepla U

## 5 ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY

Energetickou náročnost budovy popisuje Průkaz energetické náročnosti budovy a Energetický štítek obálky budovy, které lze považovat za druh certifikace přikládané ke stavebnímu povolení. Průkaz energetické náročnosti budovy informuje majitele, případně investora, o kvalitě energetické náročnosti daného objektu. Aby bylo docíleno co nejvyšších úspor na energiích při vytápění popř. chlazení, úpravě vlhkosti vzduchu a větrání nebo ohřívání vody, je výhodné investovat do kvalitního stavebního řešení. Energetický štítek obálky budovy hodnotí míru splnění požadavků na prostup tepla obvodovými stěnami. Může sloužit jako jeden z podkladů pro udělení Průkazu energetické náročnosti budovy. Nezabývá se tedy celkovou energetickou náročností.

Průkaz energetické náročnosti budovy není vázán na majitele ale na samotnou budovu. Průkaz je vystaven nejvýše na dobu deseti let, doby bývají i kratší v závislosti na provedení větší stavební změny dokončené stavby. Musí být zpracován pro domy s podlahovou plochou větší než 1000 m<sup>2</sup>.

Energetická náročnost budovy je rozdělena do sedmi úrovní, A až G, na základě druhu budovy a spotřeby energie na 1 m<sup>2</sup>. Pro udělení stavebního povolení musí budova patřit do třídy A, B nebo C. [16, str.16-19], [17], [18]

Tab. 18. Třídy energetické náročnosti budovy

| Třída energetické náročnosti budovy | Slovní vyjádření       |
|-------------------------------------|------------------------|
| A                                   | Mimořádně úsporná      |
| B                                   | Úsporná                |
| C                                   | Vyhovující             |
| D                                   | Nevyhovující           |
| E                                   | Nehospodárná           |
| F                                   | Velmi nehospodárná     |
| G                                   | Mimořádně nehospodárná |

Tab. 19. Měrná spotřeba energie budovy v kWh/(m<sup>2</sup>·rok)

|                               | A     | B         | C         | D         | E         | F         | G     |
|-------------------------------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| <b>Rodinný dům</b>            | < 51  | 51 - 97   | 98 - 142  | 143 - 191 | 192 - 240 | 241 - 286 | > 286 |
| <b>Bytový dům</b>             | < 43  | 43 - 82   | 83 - 120  | 121 - 162 | 163 - 205 | 206 - 245 | > 245 |
| <b>Hotel a restaurace</b>     | < 102 | 102 - 200 | 201 - 294 | 295 - 389 | 390 - 488 | 489 - 590 | > 590 |
| <b>Administrativní budova</b> | < 62  | 62 - 123  | 124 - 179 | 180 - 236 | 237 - 293 | 294 - 345 | > 345 |
| <b>Nemocnice</b>              | < 109 | 109 - 210 | 211 - 310 | 311 - 415 | 416 - 520 | 521 - 625 | > 625 |
| <b>Budova pro vzdělávání</b>  | < 47  | 47 - 89   | 90 - 130  | 131 - 174 | 175 - 220 | 221 - 265 | > 265 |
| <b>Sportovní zařízení</b>     | < 53  | 53 - 102  | 103 - 145 | 146 - 194 | 195 - 245 | 246 - 297 | > 297 |
| <b>Obchody</b>                | < 67  | 67 - 121  | 122 - 183 | 184 - 241 | 242 - 300 | 301 - 362 | > 362 |

Vystavení energetického dokladu je dále hodnoceno podle dalších následujících kritérií:

**Nejnižší povrchová teplota konstrukce** – Určuje se na všech typech povrchů uvnitř domu a nesmí mít nižší teplotu než je teplota rosného bodu. Teplotou rosného bodu lze označit stav, kdy dojde ke kondenzaci vodní páry ve vzduchu. Zamezí se tak vzniku plísní. [7, str. 21-22]

**Zkondenzované množství vodní páry uvnitř konstrukce** – Hodnota tohoto množství nesmí být vyšší než množství zkondenzované páry, které je schopné se vypařit během letního období. [7, str. 21-22]

**Součinitel prostupu tepla** – Charakterizuje tepelně izolační vlastnosti stavebních konstrukcí budovy. Čím je součinitel prostupu tepla vyšší, tím je i vyšší tepelná ztráta objektu. [10, str.21]

**Pokles dotykové teploty podlahy** – Povrchová teplota podlahy musí dosahovat takových hodnot, díky kterým nedochází k ochlazení interiéru a špatné tepelné pohodě v podobě pocitu chladných chodidel.

**Průvzdušnost obvodového pláště** – Zajištění budovy k minimalizaci tepelných ztrát skrz spárové otvory s ohledem na potřebnou vzdušnost konstrukce. [7, str. 21]

**Intenzita výměny vzduchu v místnosti** – Zaručení kritéria pro minimální výměny vzduchu v objektu pomocí přirozeného nebo nuceného větrání, pokud nejsou stanoveny jinak technickými nebo hygienickými podmínkami. [7, str. 24-25] [10, str.26]

**Tepelná stabilita místnosti v zimním a letním období** – stanovení parametrů pro návrh vytápění nebo chlazení v daných ročních obdobích s ohledem na zajištění tepelné pohody osob vyskytujících se v interiéru domu. [7, str. 26-27]

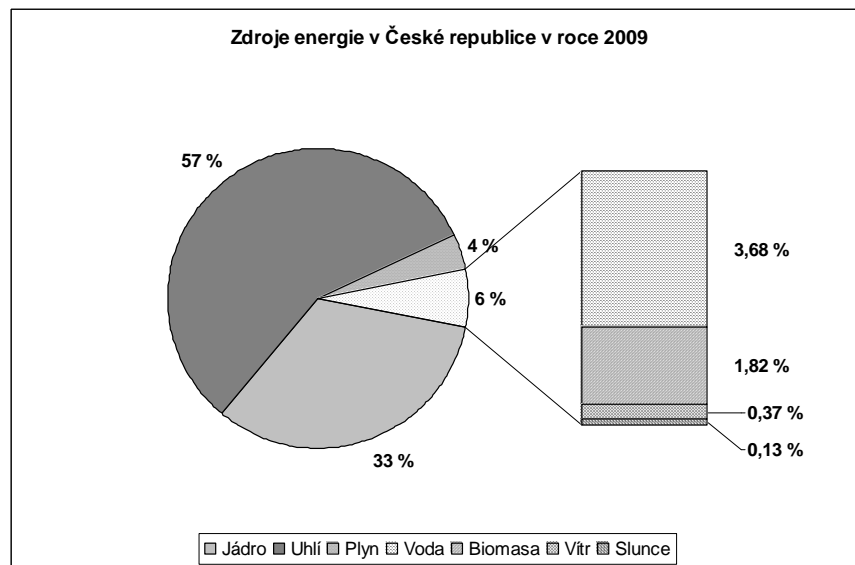
| PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY                                      |  |                                  |            |           |
|---|--|----------------------------------|------------|-----------|
| Typ budovy, místní označení<br>Adresa budovy<br>Celková podlahová plocha: | Hodnocení budovy<br>stávající stav po realizaci doporučení |                                  |            |           |
|   |  |                                  |            |           |
| Měrná vypočtená roční spotřeba energie v kWh/m <sup>2</sup> rok           | XY XY  |                                  |            |           |
| Celková vypočtená roční dodaná energie v GJ                               | XY XY  |                                  |            |           |
| Podíl dodané energie připadající na:                                      |  |                                  |            |           |
| Vytápění  | Chlazení   | Větrání                          | Teplá voda | Osvětlení |
| %   | %  | %                                | %          | %         |
| Doba platnosti průkazu  |  |                                  |            |           |
| Průkaz vypracoval   |  | Jméno a příjmení<br>Osvědčení č. |            |           |

| ENERGETICKÝ ŠTÍTEK OBÁLKY BUDOVY  |   |
|---|---|
| Typ budovy, místní označení<br>Adresa budovy<br>Celková podlahová plocha A <sub>e</sub> = m <sup>2</sup>      | Hodnocení obálky budovy<br>stávající doporučení |
|   |   |
| Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy U <sub>em</sub> ve W/(m <sup>2</sup> ·K)                     | X Y   |
| Klasifikační ukazatele Cl a jim odpovídající hodnoty U <sub>em</sub> pro A/V = m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> |   |
| Cl  | 0,30 0,60 (0,75) 1,00 1,50 2,00 2,50            |
| U <sub>em</sub>   |   |
| Platnost štítku do  | Datum   |
| Štítek vypracoval   | Jméno a příjmení<br>Klasifikace                 |

Obr. 1. Průkaz energetické náročnosti budovy a Energetický štítek obálky budovy

## 6 ZDROJE ENERGIÍ V NÍZKOENERGETICKÝCH DOMECH

Nízkoenergetické domy se vyznačují využíváním obnovitelných zdrojů energie, do kterých patří solární panely, fotovoltaické panely a tepelná čerpadla. Rodinné domy ovšem využívají pro vytápění a ohřev vody i neobnovitelné zdroje energie s využitím kotlů na zemní plyn, uhlí nebo dřevo.



Graf 5. Zdroje energie v ČR v roce 2009

### 6.1 Obnovitelné zdroje energie

Obnovitelné zdroje energie lze definovat jako naturální zdroje, které jsou schopny se samy, nebo za přispění člověka, částečně nebo zcela obnovovat při jejich postupné spotřebě. Za obnovitelný zdroj lze označit formu energie získanou zejména ze solárního záření, vodních toků, proudícího vzduchu, spalování biomasy nebo z geotermálního zdroje. Využívání obnovitelných zdrojů energie stále roste, ačkoliv zeměpisná poloha České republiky k tomu příliš nepřispívá.

**Sluneční energie** – Formou této energie je sluneční záření, resp. elektromagnetické záření, které vzniká termonukleárními reakcemi na Slunci. Celá jedna třetina dopadajícího záření je odražena od atmosféry zpět do meziplanetárního prostoru. Zbýlé záření je během pronikání atmosférou rozptýleno a pohlceno. Na zemský povrch tak dopadne zhruba

polovina původní energie ze Slunce. Energetický příkon je závislý na vzdálenosti Země od Slunce, tento příkon je označen jako solární konstanta, která je přibližně rovna  $1360 \text{ W/m}^2$ .

Sluneční energie se dá využít dvěma způsoby. Prvním je realizace solární architektury, kterou lze označit za pasivní využití. Solární architektura je obor zabývající se speciálními konstrukcemi zachytávajícími sluneční záření. Druhým způsobem je aktivní využití, to lze rozdělit dle způsobu získávání energie na přímou a nepřímou přeměnu.

- **Přímá přeměna** – Probíhá ve fotovoltaických člancích přeměňujících dopadající světlo na elektrickou energii nebo ve slunečních kolektorech sloužících pro přípravu tepla a teplé vody.
- **Nepřímá přeměna** – Využívá slunečních sběračů, ze kterých je získáváno teplo pomocí Seebeckova termoelektrického jevu, díky kterému vzniká elektrické napětí.

## 6.2 Neobnovitelné zdroje energie

Za neobnovitelný zdroj energie označujeme druh energie, jež je získávána ze surovin z nerostného bohatství, označovaných také jako fosilní paliva. Do této kategorie se řadí především ropa, uhlí a zemní plyn. Neobnovitelnými jsou nazývány z důvodu jejich vzniku v dávných dobách a dlouhé době přeměny na použitelnou formu paliva. Neobnovitelné zdroje energie jsou stále ve velké míře využívány kvůli jejich nižší ceně, oproti obnovitelným zdrojům energie. [20, str.20-37], [19, str.12-23]

## 7 SYSTÉMY A ZAŘÍZENÍ PRO TVORBU VNITŘNÍHO KLIMATU

Jestliže má být dosaženo správného vnitřního klimatu, musí se zvolit vhodná zařízení s ohledem na efektivitu, dostupnosti paliva, velikost a polohu budovy. V běžných rodinných domech patří ke zdrojům tepla kotle na dřevo nebo zemní plyn, tepelná čerpadla a solární kolektory. Proto je důležité správně navrhnout otopnou soustavu.

Za otopnou soustavu lze považovat všechna zařízení objektu, která obsahují zdroj tepla, potrubní síť se zabezpečovacími zařízeními, otopná tělesa apod. V teplovodních soustavách lze rozdělit oběh vody na nucený a přirozený.

Nucený oběh je podporován dopravním tlakem z oběhového vodního čerpadla. Výhody tohoto oběhu jsou v zajištění teplotních a hydraulických parametrů, větší úspore tepla, lepší regulaci a menší spotřebě materiálu. Nejčastěji užívané tlakové uzavřené nucené oběhy, dvoutrubkové nebo jednotrubkové, jsou instalovány společně s tlakovou expanzní nádrží v rozlehlých budovách s větším tepelným příkonem. S ohledem na vlastnosti a velikost soustavy je voleno měděné, ocelové nebo plastové potrubí.

Přirozený oběh je vyvolán rozdílem hustoty mezi studenou vratnou vodou a teplou přívodní vodou. Voda v přívodním potrubí má nižší hustotu než voda ve vratném potrubí, což vyvolá vyšší hydrostatický tlak z přívodní strany. Takový hydrostatický tlak s dostatečným rozdílem a nejmenšími ztrátami bude dosažen v budovách s malou půdorysnou plochou, jako jsou tradiční rodinné domy nebo menší bytové budovy. Přetlakem tak vznikne přirozený oběh vody v soustavě „kotel – otopné těleso – kotel“. Ačkoliv je přirozený oběh nezávislý na dodávce elektrické energie, čímž je zajištěn trvalý odběr tepla především u kotlů na tuhá paliva, mezi největší nevýhody patří velká tepelná setrvačnost, způsob regulace a velké průměry potrubí.

Pro pohon většiny zařízení, které tvoří vnitřní mikroklimatické prostředí, je potřeba napájení elektrickou energií. Tu lze získat nejen z klasické energetické sítě, ale také přeměnou sluneční energie pomocí fotovoltaického efektu a fotovoltaického článku. Výhodou fotovoltaických článků je snadnost propojování do větších celků, které tak tvoří ucelené solární panely. Panely je možné připevnit nejen na rovné plochy ale také na šikmé a strmé střechy rodinných domů. Fotovoltaické systémy mohou vyrobenou přebytečnou energii distribuovat do připojené energetické rozvodné sítě.

Nedílnou součástí systému tvorby vnitřního klimatu je vzduchotechnický systém. Cílem je dodržet požadavky pro optimální pobyt a činnosti osob v objektu a zajistit prostředí v technologickém procesu s eventuálním odvodem škodlivin. Požadovaný stav vnitřního prostředí v budově obstarává souhrn technických zařízení, který tvoří vzduchotechnickou soustavu. Funkční zařízení nízkoenergetických domů a budov s velkými prosklenými plochami nebo umělých osvětlením je tvořeno vzduchotechnikou.

## 7.1 Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo je stroj poháněný zařízením dodávající teplo do objektu odebíráním tepla z okolního prostředí. Získané teplo slouží k výrobě teplé vody a vodnímu vytápění nebo ohřevu vzduchu pro vzdušné vytápění. Teplo lze získat ze země, z vody nebo ze vzduchu. Nelze ho však přímo využít a musí se převést na vyšší teplotu. Tepelné čerpadlo přečerpává vodu z nižší teploty na vyšší. Čím má tepelný zdroj vyšší teplotní hladinu, tím vzrůstá efektivita tepelného čerpadla. Podle zdroje tepla se tepelná čerpadla rozdělují na systémy typu vzduch/vzduch, vzduch/voda, voda/voda nebo nemrzoucí směs/voda. Před lomítkem je uvedeno teplotnosné médium, za lomítkem odváděné tepelné médium.

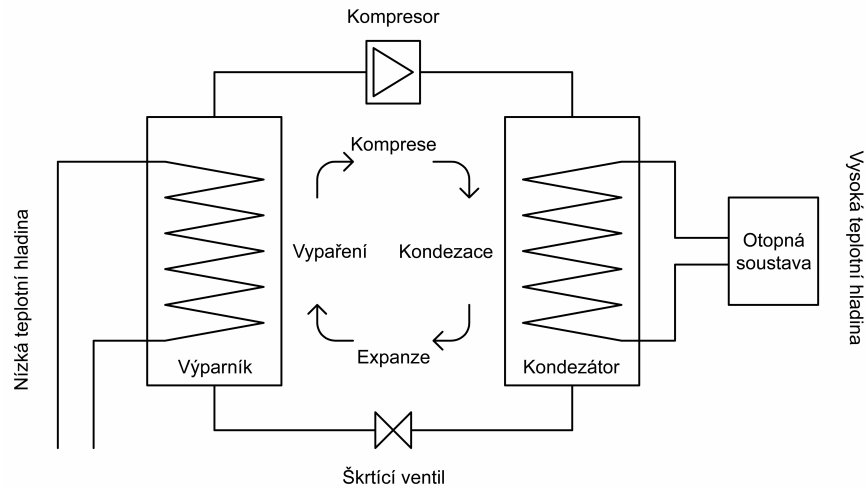
Nejvyužívanějším tepleným zdrojem je pro tepelná čerpadla teplo získané ze země, popřípadě z hlubinných vrtů spodních vod. Hlubinné vrty se využijí v místech s malou rozlohou pozemku. Nepříznivým faktorem těchto vrtů je však jejich cena, vrty totiž mohou dosahovat hloubky až 100 metrů.

Tepelná čerpadla se využívají především u podlahového vytápění z důvodu nižší požadované teploty. Nižší požadovaná teplota v otopné okružové soustavě má za následek menší spotřebu elektrické energie pro pohon tepelného čerpadla.

Princip funkce tepelného čerpadla spočívá v cirkulaci chladiva v uzavřeném okruhu. Tepelné čerpadlo odebírá z vnějšího zdroje v okolním prostředí tepelnou energii s nižší tepelnou hladinou, kterou využije k ohřevu jiné látky s vyšší tepelnou hladinou v otopné soustavě. Podle principu lze rozdělit tepelná čerpadla na kompresorová, absorpční a adsorpční.

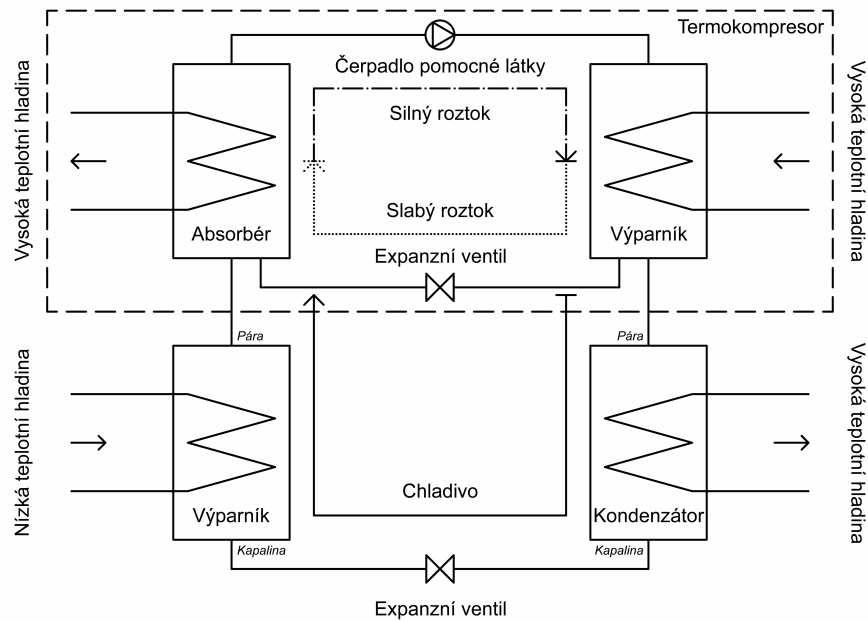
Kompresorová tepelná čerpadla jsou nejrozšířenějším typem. Kompresor poháněný elektromotorem při nízké teplotě stlačuje odpařené chladivo v plynném stavu a s nízkým bodem varu na vysoký tlak a tím ho ohřívá na vyšší teplotu. Dochází tak ke kompresi.

Tyto podmínky stačí nízkopotencionálnímu zdroji k předání tepla odváděnému médiu, které se dále využije podle daných potřeb. V kondenzátoru se chladivo opět zkapalní a dochází ke sdílení tepla. Pomocí expanzního ventilu je chladivo znovu pod tlakem uvolněno a ochlazené jde zpět do výparníku.



Obr. 2. Kompresorové tepelné čerpadlo

Absorpční tepelná čerpadla využívají ke stlačení odpařovaného chladiva z nízkopotencionálního zdroje termokompresor. Teplo se získává chemicko-technologickým postupem, např. rozpuštěním amoniaku ve vodě, tzv. sorpce. Stlačováním chladiva termokompresorem nedochází ke zvýšení tlaku, proto je pohonný zdroj elektrické energie kompresoru menší. Čerpadlo přivádí pomocnou látku do separátoru, ve kterém se neustále odděluje roztok amoniaku a vody pro opakované použití, dochází k destilaci. K destilaci je nezbytná vysoká teplota, kterou lze získat sluneční energií nebo spalováním biomasy. Získané odvedené užitečné teplo absorpčním tepelným čerpadlem je výrazně větší v porovnání s kompresorovým tepelným čerpadlem. Absorpční tepelná čerpadla lze tedy využít v místech s požadavkem na vysoký tepelný výkon.



Obr. 3. Adsorpční tepelné čerpadlo

Adsorpční tepelná čerpadla pracují na podobném principu jako absorpční tepelná čerpadla, využívají také tepelné energie. Pomocí adsorpce dochází k ukládání pohlcované páry nebo plynu v pevné látce (např. aktivní uhlí), při kterém vzniká vysoká teplota využívaná tepelným čerpadlem.[19, str.218-223], [20, str.111-116]

### 7.1.1 Návrh tepelného čerpadla

Nejprve je nutné stanovit topný faktor. Topným faktorem je označena účinnost tepelného čerpadla. Jedná se o poměr mezi vyprodukovanou tepelnou energií a hnacím příkonem čerpadla, kde hnací příkon je roven rozdílu okamžité tepelné energie a chladicího výkonu okolního prostředí. [19, str.223-225], [20, str.112]

$$COP = k \cdot \frac{\theta_s}{\theta_s - \theta_z} [-] \quad (33)$$

**COP** – Topný faktor tepelného čerpadla

**k** – korelační koeficient respektující skutečný oběh [-] ; k = 0,4 až 0,6

**$\theta_s$**  – absolutní teplota spotřebiče tepla [K]

**$\theta_z$**  – absolutní teplota zdroje tepla [K]

Po zjištění topného faktoru tepelného čerpadla, je potřeba zjistit z technických parametrů výrobce potřebné hodnoty k výpočtu chladicího výkonu.

$$Q_{CH} = Q_{TC} - P_{TC} \text{ [W]} \quad (34)$$

$Q_{CH}$  – chladicí výkon tepelného čerpadla [W]

$Q_{TP}$  – výkon tepelného čerpadla [W]

$P_{TP}$  – příkon tepelného čerpadla [W]

Je-li známa hodnota chladicího výkonu tepelného čerpadla a odběrný výkon půdy, je možné navrhnout účinnou plochu zemního kolektoru.

$$A = \frac{Q_{CH}}{q_P} \text{ [m}^2\text{]} \quad (35)$$

$A$  – celková účinná plocha zemního kolektoru tepelného čerpadla [m<sup>2</sup>]

$Q_{CH}$  – chladicí výkon tepelného čerpadla [W]

$q_P$  – měrný odváděcí výkon na 1 m<sup>2</sup> potrubí podle tabulky (Tab. 20) [W/m<sup>2</sup>]

Tab. 20. Měrný odváděcí výkon dle typu půdy

| Typ půdy             | Odběrný výkon [W/m <sup>2</sup> ] |
|----------------------|-----------------------------------|
| Suchá písčitá        | 10 - 15                           |
| Vlhká písčitá        | 15 - 20                           |
| Suchá jílovitá       | 20 - 25                           |
| Vlhká jílovitá       | 25 - 30                           |
| Půda se spodní vodou | 30 - 35                           |

## 7.2 Vytápěcí kotle

Kotel je součástí tepelné soustavy, ve které se spalováním paliva vytváří tepelná energie předaná teplonosné látce. Druh spalovaného paliva, řešení přívodu vzduchu a odvodu zplodin, požadavky na regulaci a celé vlastní umístění je závislé na počtu a velikosti kotlových jednotek. V současnosti se využívají především kotle nízkotlaké teplovodní. Jestliže je kotel zdrojem tepla výhradně pro vytápění, musí svým výkonem pokrýt celkovou tepelnou ztrátu daného objektu.

Kotle lze rozdělit podle několika základních kritérií. Prvním z nich je rozdělení podle druhu používaného paliva na plynové kotle (zemní plyn a propan-butan), kotle tuhých paliv

(uhlí, koks, dřevo) a elektrokotle. Druhé rozdělení je podle druhu teplonosné látky na vodní a parní s konstrukčním přetlakem do 0,05 MPa. Podle způsobu provozu je kotle možné dále rozdělit na kotle klasické s teplotou zpětné vody nad 60 °C, nízkoteplotní, u nichž nesmí poklesnout pod 50/40 °C a kondenzační, u kterých naopak teplota může poklesnout pod 50/40 °C.

Zemní plyn je nejpoužívanějším palivem. Zavedení plynofikace přispělo ke zlepšení vnějšího ovzduší. Do budoucna se počítá s trvalým nárůstem jeho ceny, protože odhadované zásoby jsou dle předpokladů na 150 až 200 let. Zemní plyn se využívá u kondenzačních kotlů pro nízkotlaké otopné soustavy, jako je podlahové vytápění. Mezi hlavní výhody patří až 90% účinnost, dobrá regulovatelnost, tichý a nenáročný provoz a především poměrně nízké pořizovací náklady.

Tuhá paliva jsou dalším významným palivem pro vytápěcí kotle. V současné době se dává přednost ekologičtějším kotlům na dřevo nebo dřevní štěpku. Využívají se hlavně v místech bez přívodu zemního plynu.

Elektrokotle patří k méně využívaným kotlům v domácnostech z důvodu vysoké ceny za elektrickou energii. Pro provozování některých elektrokotlů musí být vystaven souhlas od energetické společnosti z důvodu vysokého zatížení elektrické sítě a vyššího odběru elektrické energie. Z důvodu velkého příkonu musí být elektrokotel připojen na zvláštní domovní elektrický okruh.

Kotle jsou společně s pomocným zařízením a příslušenstvím instalovány v kotelnách. Za kotelnu lze považovat prostor, v němž je umístěn jeden nebo více kotlů s minimálním jmenovitým tepelným výkonem jednoho kotle 50 kW nebo se součtem jmenovitých tepelných výkonů kotlů větší než 100 kW. Plynové kotelny se rozdělují do tří kategorií:

- Kotelna I. kategorie – kotelna se součtem jmenovitých tepelných výkonů kotlů více než 3,5 MW, které jsou umístěny v samostatném objektu.
- Kotelna II. kategorie – kotelna se součtem jmenovitých tepelných výkonů kotlů nad 0,5 MW do 3,5 MW.
- Kotelna III. kategorie – kotelna se jmenovitým tepelným výkonem alespoň jednoho kotle minimálně 50 kW do součtu jmenovitých tepelných výkonů všech kotlů 0,5

MW a kotelna se součtem jmenovitých tepelných výkonů kotlů nad 100 kW do součtu jmenovitých tepelných výkonů kotlů 0,5 MW.

U kategorií II. a III. lze zřizovat plynovou kotelnu ve sklepech nebo v podstřešních prostorách, umožňují-li to podmínky stavební konstrukce, převážně z požárního a hygienického hlediska, přívodu paliva a tepelného rozvodu. Sklepy musí zajišťovat dostatečnou izolaci proti pronikání plynů z kotelny do vyšších podlaží. Konstrukce podlahy kotelny musí být taková, aby znemožňovala průnik spodních vod a kanalizačních vod z potrubí nebo vlhkost. [21, str.154-156]

### 7.2.1 Stanovení tepelného výkonu

Stanovení tepelného výkonu je důležitou součástí k dostatečného vytápění objektu a dodávky tepla pro další spotřebiče, mezi které patří ohřívače teplé vody, vzduchotechnické a klimatizační jednotky a ostatní technologická zařízení, která jsou závislá na tepelné energii. Celkový tepelný výkon nelze určit pouze ze součtu tepelných výkonů spotřebičů tepla z důvodu různorodé teploty. Jde především o venkovní teplotu ovzduší, změnu požadavků na teplotu vytápěných objektů nebo vliv provozních podmínek technologií. Tepelný výkon zdroje lze určit dle ČSN EN 12831 [12] nebo ČSN 06 0310 [29], příloha A.

Pro výpočet tepelného výkonu je možné vycházet z tepelné ztráty místnosti do exteriéru se zanedbáním ostatních spotřebičů tepla a ztrát do sousedních místností. Potřebný přípojný tepelný výkon pro malé objekty s ohřevem teplé užitkové vody a přerušovaným vytápěním lze určit pomocí vztahu (36).

$$\Phi_{PRIP} = \Phi_{TOP} + \Phi_{VZT} + \Phi_{TUV} \text{ [kW]} \quad (36)$$

$\Phi_{PRIP}$  – přípojný tepelný výkon [kW]

$\Phi_{TOP}$  – potřeba tepla pro vytápění [kW]

$\Phi_{VZT}$  – potřeba tepla pro teplovzdušné vytápění [kW]

$\Phi_{TUV}$  – potřeba tepla pro ohřev teplé užitkové vody [kW]

### 7.3 Příprava teplé vody

Rozvod teplé vody je nedílnou součástí většiny vnitřních vodovodů. V místech, ve kterých není ústřední příprava a ohřev vody je toto nutné zajistit v místě spotřeby.

Teplá voda, nebo také teplá užitková voda, se nazývá zdravotně nezávadná voda, která se využívá k mytí a koupání osob, praní, umývání předmětů a úklidu. Teplá voda je připravována ohříváním pitné vody na teplotu v rozmezí od 55 °C do 60 °C, v krajních případech od 50 °C. Jedná se o zařízení, které zajišťuje přípravu teplé vody z vody studené.

Potřeba teplé vody je popsána normou ČSN EN 06 0320 [22]. Norma udává, že potřeba teplé vody činí na jeden den přibližně 82 litrů na osobu, přičemž se na její ohřev se spotřebuje 4,3 kWh tepla na osobu. [21, str.60, str.80]

#### 7.3.1 Návrh potřeby teplé vody

Pro návrh ohřívače teplé vody je nutné znát v první řadě celkovou potřebu tepla na ohřev studené pitné vody. Teoretické potřeba teplé vody je daná součinem potřeby tepla na jednu osobu a počtem osob v objektu (37).

$$Q_{TP} = n \cdot 4,3 \text{ [kWh]} \quad (37)$$

$Q_{TP}$  – celková potřeba tepla k přípravě teplé vody [kWh]

$n$  – počet osob v objektu

Z takto získaného tepla se při ohřevu a distribuci ztratí přibližně polovina teoretické potřeby teplé vody.

$$Q_{ZT} = 0,5 \cdot Q_{TP} \text{ [kWh]} \quad (38)$$

$Q_{ZT}$  – ztráta tepla při ohřevu a distribuci [kWh]

$Q_{TP}$  – celková potřeba tepla k přípravě teplé vody [kWh]

Nyní je možné stanovit teplo dodané ohřívačem během periody ohřevu.

$$Q_P = Q_{ZT} + Q_{TP} \text{ [kWh]} \quad (39)$$

$Q_P$  – dodané teplo ohřívačem [kWh]

$Q_{ZT}$  – ztráta tepla při ohřevu a distribuci [kWh]

$Q_{TP}$  – celková potřeba tepla k přípravě teplé vody [kWh]

Celkové množství tepla není po celý den odebíráno rovnoměrně, proto je nutné rozdělit periodu ohřevu na časové denní úseky, pro které se stanoví dílčí potřeba tepla.

- 5 – 17 hod. 35 %  $Q_{TP1} = 0,35 \cdot Q_{TP}$  [kWh] (40)

- 17 – 20 hod. 50 %  $Q_{TP2} = 0,50 \cdot Q_{TP}$  [kWh] (41)

- 20 – 24 hod. 15 %  $Q_{TP3} = 0,15 \cdot Q_{TP}$  [kWh] (42)

Ze zjištěných hodnot se stanoví největší rozdíl odebíraného tepla, ze kterého je možné stanovit velikost zásobníku (43) a dále pak jmenovitý tepelný výkon (44) ohřevu teplé vody.

$$V_Z = \frac{\Delta Q_{MAX}}{c_P \cdot \Delta \theta} \quad [l] \quad (43)$$

$V_Z$  – objem zásobníku teplé vody [l]

$\Delta Q_{MAX}$  – největší rozdíl odebíraného tepla v časových úsecích [kWh]

$c_P$  – měrná tepelná kapacita vody [Wh/(l·K)] ; 1,163 [Wh/(l·K)]

$\Delta \theta$  – teplotní rozdíl přivedené a ohřáté vody [°C]

$$\Phi = \frac{Q_P}{t_P} \quad [kW] \quad (44)$$

$\Phi$  – jmenovitý tepelný výkon [kW]

$Q_P$  – dodané teplo ohřevačem [kWh]

$t_P$  – časová perioda [h] ; 24 h

[22, str.15-17]

## 7.4 Sluneční kolektory

Sluneční kolektory slouží k využití tepelné energie z dopadajícího solárního záření k ohřevu užitkové vody. Lze je rozdělit z hlediska konstrukce na trubicové, ploché a koncentrační nebo z hlediska principu získávání tepla na teplovzdušné, kapalinové a kombinované.

Nejčastěji používaným druhem solárních kolektorů v našich klimatických podmínkách je plochý kapalinový kolektor. Využívá se v systémech pro přípravu teplé

užitkové vody, k podpoře otopné soustavy nebo k ohřevu bazénů. Roční energetický zisk se pohybuje v rozmezí od 300 kW/m<sup>2</sup> do 500 kW/m<sup>2</sup>. Tento kolektor se skládá ze čtyř stěžejních dílů: absorbér, skříň, izolace a krycí sklo.

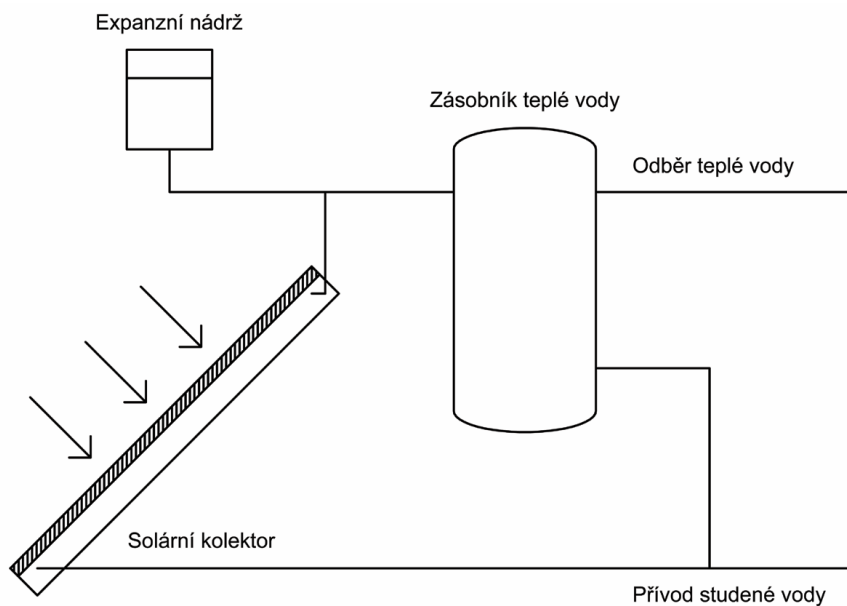
- **Absorbér** – Hlavní část kolektoru vyrobená z mědi nebo hliníku, ve které probíhá předávání tepla ze solárního záření do teplotnosné kapaliny. Takto získané teplo je předáno nemrznoucí kapalině nebo vodě proudící v trubicích připevněných na zadní straně kolektoru a je dále odvedeno k dalšímu využití. Účinnost absorberu dosahuje až 96%, díky jeho povrchové úpravě.
- **Skříň** – Část konstrukce sloužící pro přichycení absorberu a ostatních prvků a také pro upevnění samotného kolektoru ke konstrukci domu.
- **Izolace** – Slouží k zamezení úniku tepla skrz stěny skříně kolektoru. Izolační materiál vyrobený z minerální vlny nebo polyuretanu musí plně odolávat okolní vlhkosti a teplotám do 200°C.
- **Krycí sklo** – Jedná se o speciální skleněnou stěnu propouštějící pouze krátkovlnné záření z kolektoru, která tak vytvoří skleníkový efekt zvyšující účinnost kolektoru.

Kolektory se nejčastěji instalují pevně na střechu nebo stěnu domu. Pro maximální účinnost a intenzitu záření se při montáži volí jižní až jihozápadní orientace při kolmém natočení ke slunečnímu záření. Vzhledem k měnící se poloze Slunce na nebi během dne a celého roku je nutné instalovat sluneční kolektory v co nejvhodnějším úhlu. V letním období je sklon kolektoru ideálně 30°, v zimním období ideálně 60°, proto obvykle zvolený úhel sklonu je 35° až 45°.

Aby bylo možné prakticky využít instalovaný solární kolektor, je nutné vytvořit solární soustavu. Tuto soustavu vytváří kromě solárního kolektoru skupina dalších zařízení v podobě tepelného výměníku s nádrží teplé vody, expanzní nádrže, oběhového čerpadla, potrubí, regulačních prvků a jiných zařízení potřebných pro konkrétní řešení systému. Solární soustavu lze rozdělit podle způsobu oběhu na jednookruhové kapalinové systémy a dvouokruhové kapalinové systémy.

Jednookruhová řešení se využívá k jednoduššímu ohřevu vody, například v bazénových nádržích. Chladnější voda z bazénu je čerpána přes solární kolektor, který

tuto vodu ohřívá a následně je napouštěna do zásobníku. Po dostatečném ohřátí je voda napouštěna zpět do nádrže.

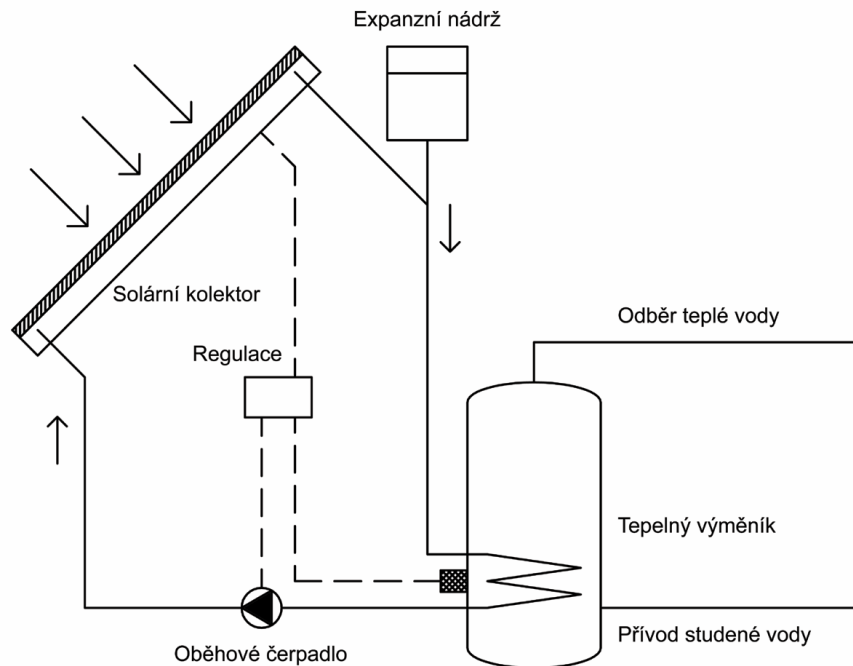


Obr. 4. Jednookruhové řešení solárního systému

Dvouokruhové systémy jsou využívány k podpoře ohřevu teplé užitkové vody. Výhodou těchto systémů je, že pracují buď v sezónním, nebo celoročním režimu. V sezónním režimu využívají jako teplotonosnou kapalinu vodu, v celoročním nemrznoucí směs na bázi propylenglykolu.

Princip činnosti spočívá v rozvodu ohřátého tepla v primárním okruhu ze solárního kolektoru do výměníku tepla a nádrže teplé užitkové vody. Sekundární okruh přebírá teplo z výměníku tepla a rozvádí jej do místa spotřeby.

Oběhové čerpadlo, které je automaticky řízeno regulátorem dle daných parametrů, zajišťuje cirkulaci teplotonosné kapaliny v systému. Expanzní nádrž vyrovnává změny tlaku v solárním systému v požadovaných mezích.



Obr. 5. Dvouokruhové řešení solárního systému

[19, str.119-130]

#### 7.4.1 Návrh slunečních kolektorů

Pro vypracování návrhu slunečního kolektoru je potřeba znát spotřebu teplé vody v objektu za delší časový úsek. Pro výpočet stačí stanovit přibližnou hodnotu spotřeby při teplotě vody 45°C.

Tab. 21. Množství spotřeby teplé vody na osobu

| Spotřeba          | Objem vody na osobu [litr/den] | Spotřeba na osobu [kWh/den] |
|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Nízká spotřeba    | 15 až 30                       | 0,6 - 1,2                   |
| Průměrná spotřeba | 31 až 60                       | 1,3 - 2,4                   |
| Vysoká spotřeba   | 60 až 120                      | 2,5 - 4,8                   |

Z důvodu zohlednění neslunečných dní během roku, by velikost zásobníku pro solární kolektor měla činit dvojnásobek celkové spotřeby po konkrétní počet osob.

$$V_{ZAS} = 2 \cdot V_{OS} \cdot n \quad [l] \quad (45)$$

$V_{ZAS}$  – objem zásobníku [l]

$V_{OS}$  – denní spotřeba jedné osoby [l]

$n$  – počet osob [-]

Je-li známa denní spotřeba energie k ohřevu teplé vody na jednu osobu za den, lze vypočítat celoroční spotřebu teplé vody.

$$Q_{TV} = 365 \cdot Q_{OS} \cdot n \quad [kWh] \quad (46)$$

$Q_{TV}$  – celoroční spotřeba tepla k ohřevu teplé vody [kWh]

$Q_{OS}$  – spotřeba tepla na ohřev teplé vody na jednu osobu za den [kWh]

$n$  – počet osob [-]

Na základě stanovení spotřeby lze určit velikost solárního kolektoru. K výpočtu je potřeba znát hodnotu roční sluneční radiace a solární zisk při daném sklonu Slunce. Velikost plochého kolektoru se vypočte pro pokrytí sluneční energií 60 % při průměrné účinnosti solárního systému 30 %.

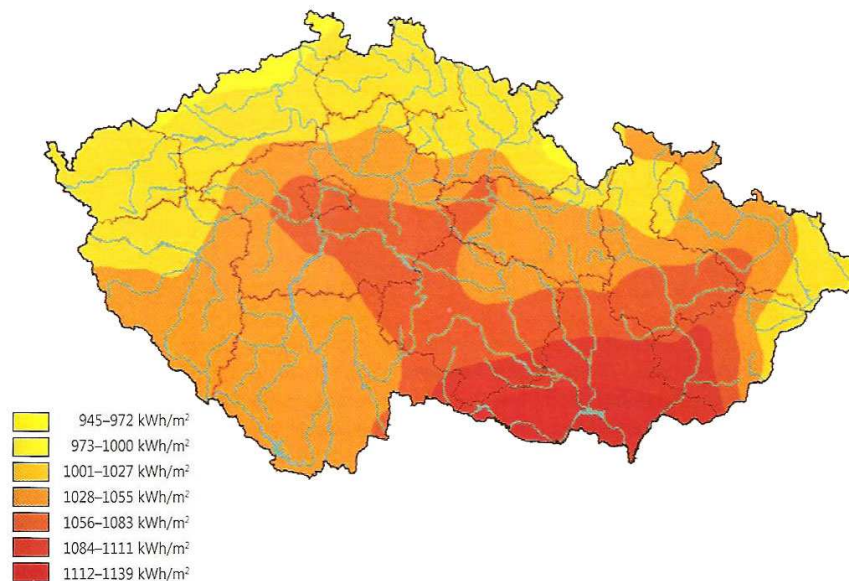
$$A_{KOL} \approx \frac{0,6}{0,3} \cdot \frac{Q_{TV}}{H_{SOLAR} \cdot f_{SKLON}} \quad [m^2] \quad (47)$$

$A_{KOL}$  – velikost plochy solárního kolektoru [m<sup>2</sup>]

$Q_{TV}$  – celoroční spotřeba teplé vody [kWh]

$H_{SOLAR}$  – roční sluneční radiace ; obvykle se volí 1000 [kWh/m<sup>2</sup>]

$f_{SKLON}$  – energetický zisk při daném sklonu solárního kolektoru [-]



Obr. 6. Průměrná hodnota solárního zisku v ČR

[19, str.136-137]

## 7.5 Teplovzdušné vytápění

Teplovzdušné vytápění je druh vzduchotechnického systému zajišťující výhradně vytápění přiváděným vzduchem, který má vyšší teplotu než je teplota vzduchu ve vytápěném prostoru a zajišťuje výměnu znehodnoceného vzduchu. Systém teplovzdušného vytápění tak vytváří komfortní tepelnou pohodu interního mikroklimatu. Systém je výhodné provozovat v režimu s nuceným větráním. Nucené větrání je prospěšné z hlediska vysoké těsností moderních oken, kdy obytné prostory nejsou dostatečně provětrány pomocí přirozeného větrání. Hrozí riziko vzniku plísní a v zimním období přirozeným větráním proudí do objektu studený venkovní vzduch, který může zvyšovat spotřebu energie. Systémy jsou vhodné pro velkoobjemové prostory s rychlou zátopovou dobou.

Hlavními výhodami jsou větrání, chlazení v letním období, energetická provozní úspora s využitím rekuperace tepla a především kvalitní mikroklimatické podmínky. Mezi nevýhody lze zařadit prostorovou náročnost, případnou hlučnost ventilátorů a mechanických součástí ve vzduchotechnické jednotce a také vyšší investiční náklady.

Vzduchotechnický systém tvoří hlavní vzduchotechnická jednotka, která zajišťuje rekuperaci a cirkulaci vzduchu v soustavě, ohřev a chlazení přiváděného vzduchu a odvod

odpadního vzduchu z objektu. Zdrojem tepla pro ohřev vzduchu, která není pokryta rekuperací, může být kotel v zapojení s tepelným čerpadlem.

Přívod větracího a vytápěcího vzduchu je v objektu rozveden pomocí podlahových kanálů, které jsou tvořené plochými vzduchovody. V jednotlivých podlažích jsou vzduchovody ukončeny pod okny místnosti vyústkami s regulací, vedeny z rozdělovacích komor. Vzduchovody jsou ke každé podlahové vyústce vedeny zvlášť. Pokud je ovšem průtok vzduchu pohybující se od 60 m<sup>3</sup>/h do 80 m<sup>3</sup>/h, je možné využít společný podlahový kanál.

Jednotlivá odsávaná místa s odpadním vzduchem jsou opatřena napojením na oddělené odvětrávací potrubí s talířovými ventily. Odvětrávací potrubí vede do vzduchotechnické jednotky. V rekuperační jednotce předává odpadní vzduch obsažené teplo přiváděnému čerstvému chladnému vzduchu. Odebráním tepla se odpadní vzduch ochladí a je odveden do venkovního prostředí.[21, str.207-218], [24, str.3-9]

### 7.5.1 Návrh teplovzdušného vytápění

Pro dimenzování teplovzdušného vytápění je potřeba nejprve stanovit tepelné ztráty pro jednotlivé místnosti v domě. Následující postup návrhu je popsán pro obytné místnosti. Pro sociální prostory, jako je sprcha, koupelna nebo toalety, se nedoporučuje temperovat teplovzdušným vytápěním, proto je nutné navrhnout jinou doplňkovou otopnou soustavu, např. pomocí otopných žebříkových těles nebo podlahovým vytápěním.

Pro stanovení optimálního množství přiváděného vytápěcího vzduchu je nutné vymezit vstupní podmínky a kritéria k návrhu teplovzdušné soustavy, jako je maximální součinitel prostupu tepla konstrukcí (Kap. 4.1) společně s maximální intenzitou výměny vzduchu (Kap. 2.2).

Množství topného vzduchu k pokrytí tepelných ztrát je závislé na samotných tepelných ztrátách, měrné tepelné kapacitě vzduchu a rozdílu teplot vnitřní výpočtové teploty a teploty vytápěcího vzduchu, který se přivádí do objektu. Teplota vytápěcího vzduchu se pohybuje v rozmezí od 40 °C do 45 °C.

$$\dot{V}_P = \frac{Q_{ZTR}}{\rho \cdot c \cdot (\theta_P - \theta_I)} \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (48)$$

$V_P$  – množství přiváděného vzduchu [m<sup>3</sup>/h]

$Q_{ZTR}$  – celkové tepelné ztráty pro konkrétní místnosti

$\rho$  – hustota vzduchu ;  $\rho = 1,2$  [kg/m<sup>3</sup>]

$c_N$  – měrná tepelná kapacita vzduchu ; 0,337 kWh

$\theta_P$  – teplota přiváděného vzduchu

$\theta_I$  – vnitřní výpočtová teplota

Celkové množství přiváděného vzduchu do objektu je dán součtem množství přiváděného vzduchu do jednotlivých místností (49).

$$\dot{V}_C = \sum \dot{V}_P \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (49)$$

Vzduch přiváděný do objektu obsahuje venkovní vzduch (50), který je predehříván ve vzduchotechnické jednotce, je smísen s cirkulačním vzduchem a dále je dohříván na teplotu vzduchu, který se přivádí do místnosti.

$$\dot{V}_E = n \cdot V \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (50)$$

$V_E$  – množství čerstvého venkovního vzduchu [m<sup>3</sup>/h]

$n$  – minimální intenzita výměny vzduchu [h<sup>-1</sup>.]; 0,5 h<sup>-1</sup>.

$V$  – objem objektu [m<sup>3</sup>]

U rovnotlakých vzduchotechnických systémů musí být stejné množství venkovního vzduchu odvedeno z objektu v podobě odpadního vzduchu (51).

$$\dot{V}_O = \dot{V}_E \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (51)$$

$V_O$  – množství odpadního vzduchu [m<sup>3</sup>/h]

$V_E$  – množství čerstvého venkovního vzduchu [m<sup>3</sup>/h]

Poslední složkou vzduchu v soustavě je cirkulační vzduch (52), který je dán rozdílem přiváděného vzduchu a odpadního resp. čerstvého.

$$\dot{V}_C = \dot{V}_P - \dot{V}_O \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (52)$$

## 7.6 Podlahové vytápění

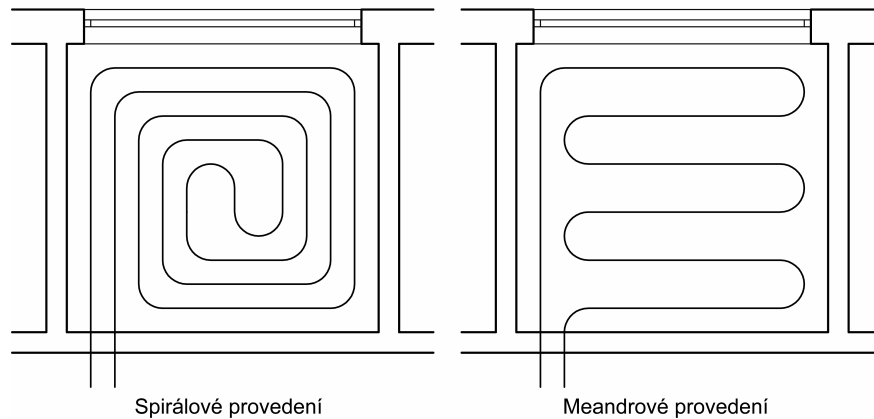
Podlahové vytápění, které je popsáno normou ČSN EN 1264 [34], [35], [36], [37], [38], je vhodné pro stavby s dobrými tepelně izolačními vlastnostmi objektu. Při výpočtech tepelných ztrát je možné počítat s nižší výpočtovou teplotou interiéru. V porovnání s konvekčními otopnými tělesy je možné snížit tuto teplotu o 1 až 3 kelviny, aniž by byla narušena tepelná pohoda.

Výhodou podlahového vytápění je rovnoměrné rozložení teploty v místnosti a nižší úroveň víření prachu, které je zapříčiněné minimalizací cirkulací vzduchu. Snižuje tedy riziko šíření alergenů v prostoru. Při poklesu teploty vnitřního vzduchu se automaticky zvýší měrný tepelný výkon podlahového vytápění, protože měrný tepelný výkon je závislý na rozdílu teploty interiéru a teploty povrchu podlahy. Nedochozí ke zbytečnému přetápění místnosti. Nevýhodou tohoto způsobu vytápění je tepelná setrvačnost, která se pohybuje okolo 2 až 3 hodin.

Provedení otopné plochy je možné realizovat dvěma způsoby, suchým a mokrým způsobem. V suchém provedení je teplovodní potrubí vloženo v izolační vrstvě pod betonovou deskou. Potrubí je odděleno speciální folií umožňující rovnoměrné rozložení tepla. Teplota přírodní vody se pohybuje v rozsahu od 40 °C do 70 °C. Suchý způsob provedení se využívá v místech, ve kterých postačuje nižší měrný tepelný tok podlahy do 50 W/m<sup>2</sup>.

U mokrého způsobu provedení otopné plochy se předpokládá teplota přírodní vody od 35 °C do 55 °C s měrným tepelným tokem podlahy nad 50 W/m<sup>2</sup>. Otopná smyčka je vložena do betonové vrstvy nad tepelnou izolací.

Uložení otopných hadů do podlahy se provádí dvěma způsoby, metodou plošné spirály nebo meandrovým způsobem kladení. U obou typů pokládky se využívají rozteče trubek od 50 do 300 milimetrů. [21, str.140-145], [26, str.246-249]



Obr. 7. Způsob uložení otopného hadu v podlaze

### 7.6.1 Návrh podlahového vytápění

Prvním krokem při návrhu podlahového vytápění je výpočet tepelného toku (53) podlahy určený podílem potřebného tepelného výkonu a samotnou plochou podlahy pro danou místnost.

$$q = \frac{P_P}{A_P} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (53)$$

$q$  – tepelný tok podlahy [W/m<sup>2</sup>]

$P_P$  – potřebný tepelný výkon pro vytápěnou místnost [W]

$A_P$  – plocha místnosti [m<sup>2</sup>]

Po stanovení tepelného toku (53) je možné provést další výpočty k určení střední teploty podlahy (54) a k určení požadovaného výkonu podlahového vytápění (55).

$$\theta_F = \left( \frac{q}{8,92} \right)^{1,1} + \theta_I \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (54)$$

$\theta_F$  – střední teplota podlahy [°C]

$q$  – tepelný tok podlahy [W/m<sup>2</sup>]

$\theta_I$  – výpočtová teplota interiéru [°C]

$$P_{POŽ} = A_P \cdot q \cdot \left( 1 + \frac{R_O}{R_U} + \frac{\theta_I - \theta_U}{q \cdot R_U} \right) \text{ [W]} \quad (55)$$

$P_{POŽ}$  – požadovaný výkon podlahového vytápění [W]

$A_P$  – plocha místnosti [m<sup>2</sup>]

$q$  – tepelný tok podlahy [W/m<sup>2</sup>]

$R_O$  – tepelný odpor vrstev nad trubkami [(m<sup>2</sup>·K)/W]

$R_U$  – tepelný odpor vrstev pod trubkami [(m<sup>2</sup>·K)/W]

$\theta_I$  – výpočtová teplota interiéru [°C]

$\theta_U$  – teplota prostoru pod podlahou [°C]

Pro návrh podlahového vytápění je nutné znát průměrnou teplotu cirkulující vody v potrubí (57). Aby bylo možné zjistit tuto teplotu vody v potrubí je potřeba vypočítat charakteristické číslo podlahy (56).

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot (R_O^{-1} + R_U^{-1})}{\pi^2 \cdot \lambda_D \cdot d}} \text{ [-]} \quad (56)$$

$m$  – charakteristické číslo podlahy

$R_O$  – tepelný odpor vrstev nad trubkami [(m<sup>2</sup>·K)/W]

$R_U$  – tepelný odpor vrstev pod trubkami [(m<sup>2</sup>·K)/W]

$\lambda_D$  – tepelná vodivost roznášecí vrstvy [W/(m·K)] ; obvykle 1,1 W/(m·K) pro beton

$d$  – průměr potrubí [m]

$$\theta_M = (\theta_F - \theta_I) \cdot R_O \cdot h_P \cdot \frac{m \cdot \frac{T}{2}}{\operatorname{tgh}\left(m \cdot \frac{T}{2}\right)} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (57)$$

$\theta_M$  – průměrná teplota vody v potrubí [°C]

$\theta_F$  – střední teplota podlahy [°C]

$\theta_I$  – výpočtová teplota interiéru [°C]

$R_O$  – tepelný odpor vrstev nad trubkami [(m<sup>2</sup>·K)/W]

$h_P$  – součinitel přestupu tepla [W/(m<sup>2</sup>·K)] ; pro výpočty  $h_P = 10,75 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

$m$  – charakteristické číslo podlahy

$T$  – rozteč potrubního vedení [m] ; volí se obvykle  $T = 0,15 \text{ m}$

Posledním krokem u návrhu podlahového vytápění jsou hydraulické výpočty ke stanovení hmotnostního průtoku v potrubí (58), rychlosti proudění vody v potrubí (59) a celkové tlakové ztráty v okruhu (60). Hmotnostní průtok je dán potřebným výkonem, měrnou tepelnou kapacitou kapaliny proudící v potrubí a rozdílem teplot přívodní a vratné kapaliny v potrubí.

$$\dot{m} = \frac{P_P}{c_p \cdot \Delta\theta} \cdot 3600 \text{ [kg/h]} \quad (58)$$

$\dot{m}$  - hmotnostní průtok v potrubí [kg/h]

$P_P$  – potřebný výkon pro vytápění místnosti [W]

$c_p$  – měrná tepelná kapacita vody [kJ/(Kg·K)]; 4180 kJ/(Kg·K)

$\Delta\theta$  – rozdíl teplot příváděné a vratné vody [°C]

$$w = \frac{\dot{m}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho} \text{ [m/s]} \quad (59)$$

$w$  – rychlosti proudění vody v potrubí [m/s]

$\dot{m}$  – hmotnostní průtok v potrubí [kg/h]

$d$  – průměr potrubí [m]

$\rho$  – hustota vody v potrubí ;  $\rho = 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

$$\Delta p_z = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \text{ [Pa]} \quad (60)$$

$\Delta p_z$  – celkové tlakové ztráty třením v potrubním okruhu [Pa]

$\lambda_D$  – součinitel tření [-]

$l$  – délka otopného hadu [m] ; dle rovnice (61)

$d$  – průměr potrubí [m]

$w$  – rychlosti prodění vody v potrubí [m/s]

$\rho$  – hustota vody v potrubí ;  $\rho = 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

Pro doplnění, celková délka uloženého potrubí resp. délka otopného hadu v podlaze se stanoví podílem plochy místnosti a roztečí potrubí.

$$l = \frac{A_P}{T} \text{ [m]} \quad (61)$$

$l$  – délka otopné smyčky [m]

$A_P$  – plocha místnosti [m<sup>2</sup>]

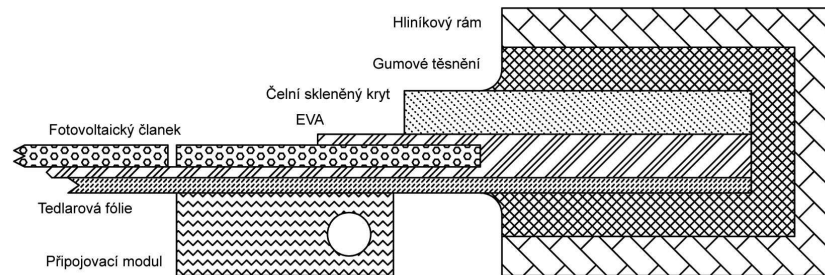
$T$  – rozteč potrubního vedení [m]

[26, str.249-253]

## 7.7 Fotovoltaické panely

Fotovoltaické panely využívají slunečního tepelného záření (obdobně jako solární panely) k výrobě elektrické energie. Fotovoltaický článek se skládá z křemíkových polykrystalických nebo monokrystalických plátů, které dohromady vytváří velkoplošné polovodičové P-N přechody. Protože články jsou velmi křehké a citlivé na okolní povětrnostní vlivy, především na vlhkost, která přispívá ke korozi, jsou články ukryty a zalaminovány ve speciálním plastovém pouzdře mezi ochrannou skleněnou deskou s gumovým těsněním. Celá konstrukce je umístěna v hliníkovém modulárním spojovacím rámu, který propojuje jednotlivé fotovoltaické články. Všechny články jsou sériově propojeny společně s paralelními bypassovými diodami, jež slouží jako ochrana při případné závadě.

Hlavním principem fungování je fotovoltaický jev, při kterém dochází k uvolňování elektronů z absorbovaného fotonového elektromagnetického záření. Fotoemisí tak vzniká volný elektrický náboj, který je odváděn z fotovoltaického panelu přes regulátor ke spotřebiči, popř. do záložního akumulátoru.



Obr. 8. Základní konstrukce fotovoltaického panelu

Přebytečná elektrická energie z instalovaných fotovoltaických panelů bývá často prodávána připojenému provozovateli energetické sítě. Takto připojené malé domácí elektrárny mohou pokrýt zvýšenou spotřebu elektrické energie domácností během dne s ohledem na předimenzování celé sítě.

Výkon, který je udáván v jednotkách špičkového výkonu Wp (watt peak), se pohybuje od 100 Wp/m<sup>2</sup> do 173 Wp/m<sup>2</sup> při intenzitě osvětlení 1000 W/m<sup>2</sup> a teplotě panelu 25°C. Účinnost dnes běžně vyráběných a montovaných fotovoltaických panelů dosahuje z teoretické maximální 50% účinnosti pouze 14 %. Z takto účinných panelů lze přepokládat finanční návratnost 9 až 12 let, při délce životnosti 20 let, kdy nominální výkon neklesne pod 80%. [19, str.91-99]

### 7.7.1 Návrh fotovoltaického zařízení

Po zjištění disponibilních rozměrů střechy a účinnosti panelu je možné stanovit přibližný instalovaný výkon.

$$P_{FV} = A \cdot \eta \text{ [kW]} \quad (62)$$

$P_{FV}$  – instalovaný výkon fotovoltaického zařízení [kW]

$A$  – využitelná plocha [m<sup>2</sup>]

$\eta$  – účinnost fotovoltaického panelu, obvykle 14 %

Tento výkon poslouží k výpočtu ročního výtěžku systému. Dále se využije roční hodnota sluneční radiace, solární zisk Slunce a kvalitativní faktor fotovoltaického panelu tzv. Performance Ratio, což je poměr reálně získané energie a teoreticky dosažitelné energie v ideálních podmínkách.

Tab. 22. Performance Ratio fotovoltaických systémů

| Charakteristika systému   | Performance Ratio |
|---|-------------------|
| Výborné zařízení, odvětrávané, nezastíněné, malé znečištění.                          | 0,85              |
| Dobré zařízení, odvětrávané, nezastíněné.   | 0,8               |
| Průměrná úroveň zařízení.   | 0,75              |
| Průměrná úroveň zařízení, vinou špatným odvětráváním nebo zastíněním.                 | 0,7               |
| Špatná úroveň zařízení, větší ztráty způsobené zastíněním, znečištěním nebo výpadkem. | 0,6               |
| Velmi špatná zařízení s velkým zastíněním a poruchami                                 | 0,5               |

$$E_{EL} = H_{SOLAR} \cdot f_{SKLON} \cdot P_{FV} \cdot PR \text{ [kWh/rok]} \quad (63)$$

$E_{EL}$  – elektroenergetická vytíženost [kWh/rok]

$H_{SOLAR}$  – roční sluneční radiace; pro ČR se obvykle volí 1000 [kWh/m<sup>2</sup>]

$f_{SKLON}$  – energetický zisk při daném sklonu solárního kolektoru [-]

$P_{FV}$  – instalovaný výkon fotovoltaického zařízení [kW]

$PR$  – Performance Ratio

Další postup výpočtu slouží pro malé autonomní systémy, které lze využívat např. v zahraniím osvětlení nebo malých altáncích. Potřebný výkon k výpočtu výkonu fotovoltaického modulu v autonomním provozu je potřeba znát sluneční radiaci v nejpříznivějším měsíci během roku, elektrickou spotřebu ve stejném měsíci, rezervní přírážku, která obvykle činí 50 %, a kvalitativní faktor Performance Ratio.

$$P_{FVA} = \frac{(1 + f_S) \cdot E_{SP,M}}{PR} \cdot \frac{1}{H_{SOLAR,M}} \text{ [W]} \quad (64)$$

$P_{FVA}$  – potřebný výkon fotovoltaického zařízení [W]

$f_S$  – rezervní přírážka, obvykle minimálně 50%

$E_{SP,M}$  – elektrická spotřeba v nejpříznivějším měsíci [Wh]

$H_{SOLAR,M}$  – sluneční radiace v nejpříznivějším měsíci [kWh/m<sup>2</sup>]

$PR$  – Performance Ratio

Součástí každého samostatného fotovoltaického systému je akumulátorová baterie, jejíž kapacita musí být dimenzována tak, aby byla schopna se v polovině svého vybití začít nabíjet a zároveň pokryla spotřebu určitého počtu dní. Obvykle se uvažuje s 5 rezervními dny, v zemích s intenzivnějším osvitem je počet dní menší.

$$C = \frac{2 \cdot E_{SP,M}}{U_{BAT}} \cdot \frac{d_R}{31} \text{ [Ah]} \quad (65)$$

$C$  – kapacita akumulátorové baterie

$E_{SP,M}$  – elektrická spotřeba v nejpříznivějším měsíci [Wh]

$U_{BAT}$  – napětí akumulátorové baterie

$d_R$  – počet rezervních dnů

Elektrickou spotřebu v nejpříznivějším měsíci lze zjistit z výkonu připojeného zařízení a denní délky doby spotřeby.

$$E_{SP,M} = 31 \cdot P_{ZAR} \cdot t_{ZAR} \text{ [Wh]} \quad (66)$$

$E_{SP,M}$  – elektrická spotřeba v nejpříznivějším měsíci [Wh]

$P_{ZAR}$  – výkon připojeného zařízení [W]

$t_{ZAR}$  – denní délka doby spotřeby [h]

[19, str.106-111]

## **8 ELEKTRONICKÉ BEZPEČNOSTNÍ SYSTÉMY EZS A EPS**

Elektronická zabezpečovací signalizace, zkráceně EZS, a elektronická požární signalizace, zkráceně EPS, jsou určeny ke zvýšení bezpečnosti osob a majetku v budově. Systém zabezpečovací signalizace se využívá převážně k ochraně objektu proti neoprávněnému vniknutí cizích osob. Protipožární systémy se zaměřují na detekci a případnou eliminaci vzniku požáru, kouře nebo nebezpečných plynů.

### **8.1 Elektronická zabezpečovací signalizace**

Elektronická zabezpečovací signalizace se zabývá detekcí vniknutí cizích osob a tuto skutečnost signalizovat. Celý systém je složen z ústředny, záložního zdroje, senzorů a koncových signalizačních zařízení. Sensory EZS jsou instalovány především na okna a dveře, které bývají typickými místy útoků nežádoucích osob do objektu. Mezi hlavní a nejvyužívanější prvky této ochrany patří magnetické dveřní senzory, akustické senzory rozbitého skla a detektory pohybu, které mohou být doplněny o kamerový bezpečnostní systém.

Magnetické senzory slouží k detekci otevření okna nebo dveří na principu změny magnetického pole. Sensor se skládá z vlastního senzoru a magnetu. Magnet je připevněn na okně nebo dveřích, senzory jsou umístěny na okenním rámu nebo dveřní zárubni.

Akustické senzory plní obdobnou funkci jako magnetické senzory. Jsou schopny rozlišit spektrum zvukových vln, které se blíží zvuku rozbitého skla. Nevýhodou těchto senzorů je možnost falešného poplachu, které zapříčiní podobný zvuk jako je zvonek nebo okolní ruch z dopravních prostředků.

Detektory pohybu plní funkci signalizace v rámci prostorové ochrany objektu pomocí pohybových čidel nebo kamerového systému. Nejběžnější čidla, která zachycují pohyb osob, pracují na principu změny v infračerveném pásmu elektromagnetického vlnění, tzv. PIR detektory s Fresnelovou čočkou.

### **8.2 Elektronická požární signalizace**

Systém elektronické požární signalizace se věnuje zabezpečení objektu pomocí signálních hlásičů, díky které je schopen včas zaznamenat případný vznik požáru. Hlásiče požáru sledují a vyhodnocují určité fyzikální parametry a jejich změny. Tyto hlásiče jsou

napojeny na ústřednu EPS, která v případě detekce požáru informuje o vzniklé skutečnosti a případně zavolá jednotku požární ochrany. V rodinných domech se nejčastěji vyskytují samočinné hlásiče reagující právě na změny fyzikálních parametrů, podle kterých je lze rozdělit na teplotní hlásiče, hlásiče vyzařování plamene, hlásiče nebezpečných plynů a kouřové hlásiče.

Teplotní hlásiče nejčastěji vyhodnocují rychlost teplotní změny okolí nebo maximální mez přípustné teploty. Takovéto hlásiče mohou také pracovat ve skupině dvou nebo více zařízení, které reagují na rozdíl hodnot v odlišných místech.

Hlásiče vyzařování plamene sledují světelné spektrum podobající se záření šlehajících plamenů v okolí detektoru.

Rozsáhlou skupinou jsou kouřové hlásiče, které reagují na vznik požáru v případě zjištění přítomnosti aerosolů, zplodin hoření, ionizačních proudů nebo vyhodnocují rozptýl a pohlcování záření nejen ve viditelném, ale i v infračerveném a ultrafialovém pásmu elektromagnetického spektra.

## 9 KOMUNIKAČNÍ SBĚRNICE KNX/EIB

U nových budov je možné se stále častěji setkat s moderními prvky a systémy řídicí elektroniky, které slouží k obsluze a správě integrovaných zařízení. Pro efektivní užívání těchto systémů, je snaha najít ideální propojení všech prvků. Takový problém řeší komunikační sběrnice, která běží na otevřeném systému.

Otevřené systémy lze popsat jako systémy, které jsou veřejně přístupné všem výrobcům inteligentní elektroniky na úrovni komunikačního protokolu. Vyznačují se tím, že pracují na jedné společné sběrnici. V praxi to znamená, že ovládací software lze vyvíjet nezávisle na hardwarovém elektronickém prvku. Množství nabízeného sortimentu je tedy výrazně vyšší a je možné si vybrat s široké nabídky. Uživatel tím pádem není vázaný na specializované výrobky a náhradní díly jedné společnosti.

Mezi takové otevřené systémy lze zařadit komunikační sběrnici KNX, která se dnes v inteligentních budovách využívá v široké škále aplikací v oboru automatizace, regulace, řízení, elektronického zabezpečení, požárních systémů apod.

U některých výrobku se lze také setkat se zkratkou KNX/EIB, která vychází z označení „European Installation Bus“. Sběrnice KNX je charakterizována komunikační rychlostí až 32 kb/s, délkou sítě v linii do 1000 metrů a vzdáleností dvou zařízení do 700 metrů. Napájení sběrnice nesmí být delší než 350 metrů. Systém inteligentního řízení je možné rozdělit do 15 oblastí, které je dále možné rozdělit na 15 linií. Každá vytvořená linie může obsahovat až 255 prvků. Prakticky to znamená, že KNX dokáže ovládat až 57375 různých zařízení. Jednotlivé propojené prvky komunikují metodou peer-to-peer, tedy každý s každým bez ohledu na nadřazené ovládací prvky. Mezi výhody patří přímé napájení po datové sběrnici.

### 9.1 Vrstvy KNX

- Fyzická – Systém KNX pracuje bez ohledu na volbě druhu fyzické vrstvy. Znamená to tedy, že je možné kombinovat v rámci jedné sítě více standardů.
- Linková – Zabývá se přístupem jednotlivých prvků k přenosovému médium a vzájemnému propojení.

- Sít'ová – Úkolem této vrstvy je řídit a segmentovat jednotlivé rámce společné s jejich směrováním v komunikační síti.
- Transparentní – Zabývá se řízením vyslaných a přijatých dat. Vytváří tak vzájemné komunikační propojení mezi jednotlivými uzly.
- Aplikační – Řeší problematiku aplikačních procesů a využívaných služeb v závislosti na druhu užívané komunikace.

## 9.2 Přenosová média KNX

- Twisted Pair – kroucená dvojlinka – Jedná se o přenos po metalickém vedení, u kterých není nutné použití zakončovacích rezistorů.
- Power Line – síťové vedení – Přenos dat je umožněn po rozvodech elektrické sítě. Přenosová rychlost je 1,2 kb/s nebo 2,4 kb/s.
- Radio Frequency – rádiový přenos – Komunikace probíhá bezdrátově na frekvenci 868 MHz pomocí FSK kódování. Přenosová rychlost bezdrátového spojení je 32 kb/s.
- IP komunikace – Vyznačuje se přenosem dat pomocí komunikačních standardů Ethernet, Wi-Fi nebo Bluetooth.

## 9.3 Struktura síťové sběrnice

Strukturu sběrnice KNX je možné rozdělit do tří úrovní, konkrétně na páteřní linii, oblast a hlavní linii.

Páteřní linie je nejvyšší úroveň, na kterou je možné napojit až 15 oblastí, na které je dále možné napojit dalších 15 hlavních linií. Hlavní linie může sdružovat až 255 různých zařízení. Ve výsledku to znamená, že tato sběrnice může obsloužit až 57 375 zařízení. Každé takové zařízení disponuje svoji síťovou adresou, ve které jsou jednotlivé úrovně rozděleny lomítkem, Oblast/HlavníLinie/Zařízení.

[27, str.52-55, str.66, str.72-79], [28, str.6-7]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 10 POPIS NAVRHOVANÉHO RODINNÉHO DOMU

Rodinný dům, určený k celoročnímu užívání, se nachází v obci Zlobice, přibližně šest kilometrů na západ od města Kroměříž. Dům je nepodsklepený a disponuje dvěma podlažími. První nadzemní podlaží slouží jako společenská část, druhé nadzemní podlaží jako klidová část.

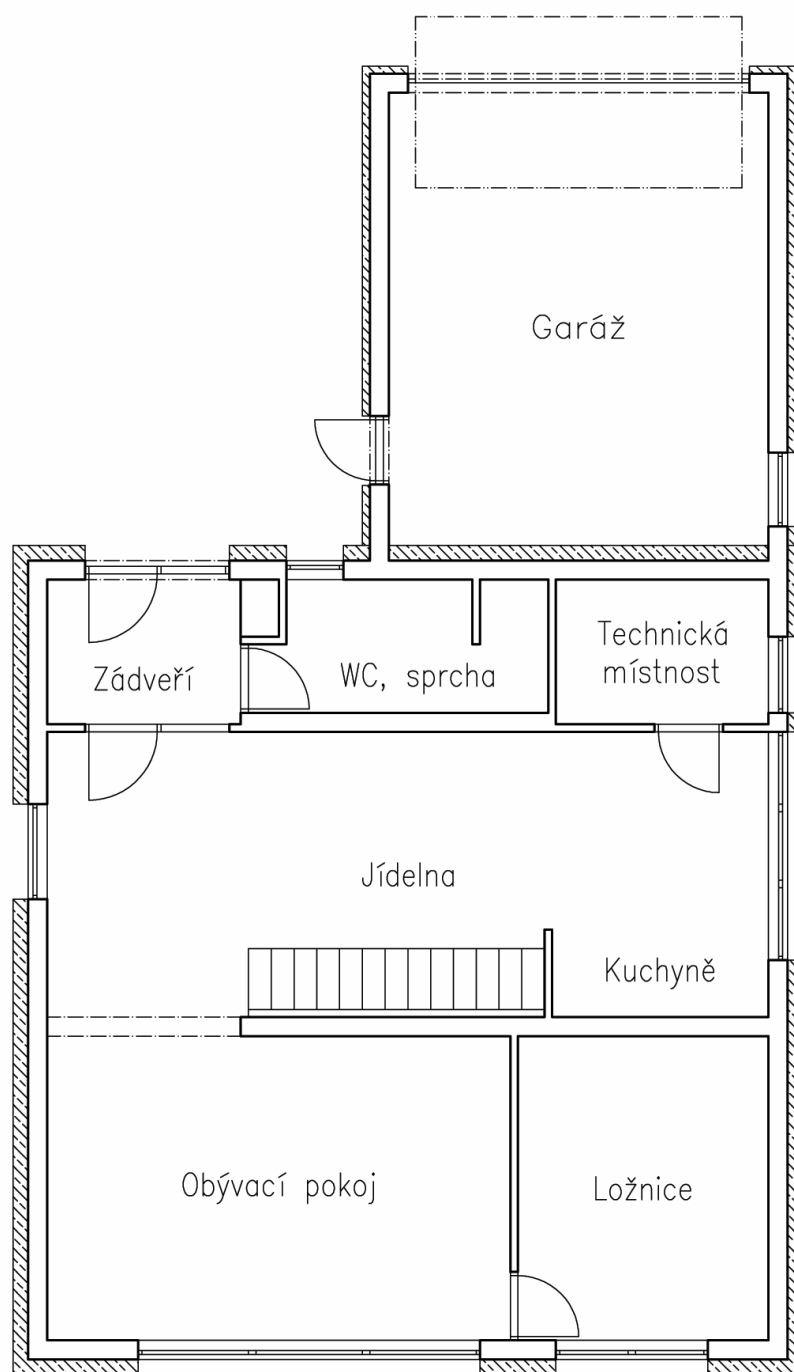
Vstup do interiéru je ze severní strany přes zádveří se šatnou a dveřmi do koupelny s toaletou do společenské haly se schodištěm, prostorem pro stolování a kuchyní. Kuchyň má dveře do technické místnosti. Za jídelnou se nachází obývací pokoj s krbem, prosklenou stěnou orientovanou na jižní stranu a dveřmi do ložnice. Na severní straně je k domu připojena garáž.

Ve druhém podlaží je navržena oddělená toaleta od koupelny s vanou, tři samostatné pokoje a šatna. Všechny pokoje, které jsou přímo větrány a osvětleny, mají vstup z haly se schodištěm.

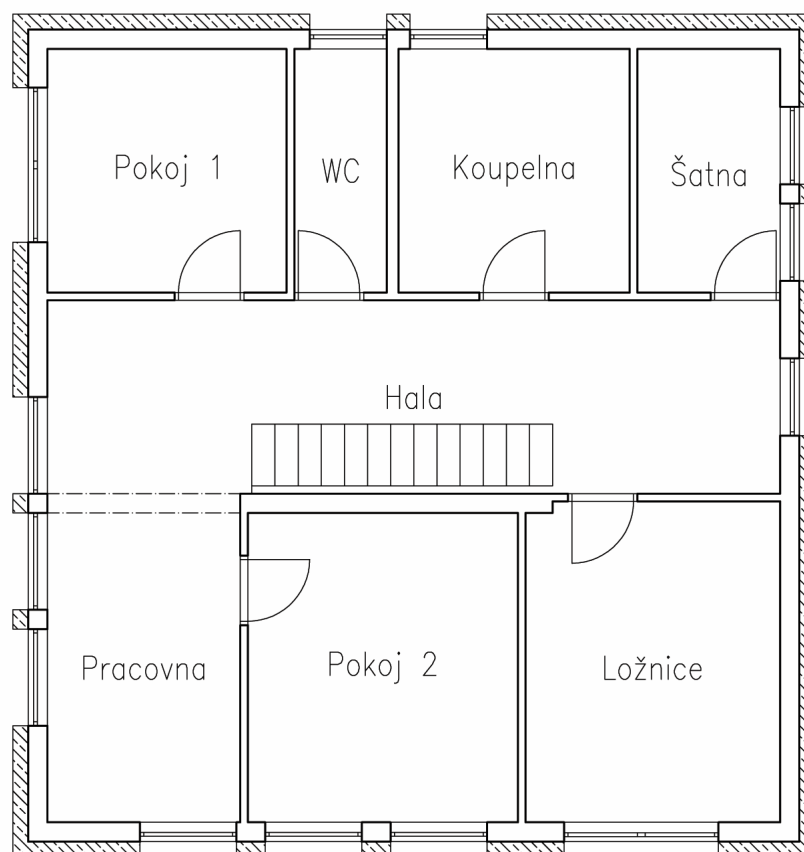
### 10.1 Konstrukční řešení

Spodní část domu je tvořena základy a podkladním betonem s výztuží. Obvodové zdivo je z dutinkových keramických cihel 250 milimetrů, obdobně jako vnitřní zdivo o tloušťce 115 milimetrů. Venkovní zateplení je polystyrenové. Strop prvního nadzemního podlaží sestává z železobetonové monolitické desky. Nad druhým nadzemním podlažím je dřevěná trámová střecha s tepelnou izolací. Střecha s krytinou z tvarovaných plechů má mírný sklon pod úhlem 12°. Schodiště ve vstupní hale je tvořeno dřevěnými stupni položenými na ocelové schodnici.

Půdorysné rozměry rodinného domu jsou 10,9 metru a 10,4 metru. Výška domu po hřebeni střechy je přibližně 7,9 metru. Světlá výška prvního a druhého nadzemního podlaží je 2,75 metru. Přilehlá garáž na severní straně má rozměry 5,7 metru a 6,4 metru. Garáž a podstřešní prostor nad druhým podlažím jsou nevytápěné, proto nejsou zahrnuty do výpočtů.



Obr. 9. Situační náčrt 1. nadzemního podlaží



Obr. 10. Situační náčrt 2. nadzemního podlaží

Tab. 23. Základní seznam místností

| Místnost       | Identifikátor | Plocha [m <sup>2</sup> ] | Objem [m <sup>3</sup> ] |
|----------------|---------------|--------------------------|-------------------------|
| Zádveří        | 1.7           | 7,32                     | 13,75                   |
| WC, sprcha     | 1.6           | 9,92                     | 16,80                   |
| Tech. místnost | 1.5           | 8,00                     | 14,50                   |
| Jídelna        | 1.3           | 27,31                    | 81,40                   |
| Kuchyň         | 1.4           | 13,14                    | 30,25                   |
| Obývací pokoj  | 1.1           | 30,20                    | 67,10                   |
| Ložnice        | 1.2           | 17,39                    | 36,30                   |
| Pokoj 1        | 2.3           | 13,14                    | 27,20                   |
| Pokoj 2        | 2.4           | 16,47                    | 27,30                   |
| Ložnice        | 2.5           | 17,67                    | 37,70                   |
| WC             | 2.8           | 4,83                     | 10,40                   |
| Koupelna       | 2.7           | 11,40                    | 25,85                   |
| Šatna          | 2.6           | 8,57                     | 15,95                   |
| Hala           | 2.1           | 27,82                    | 71,50                   |
| Pracovna       | 2.2           | 13,72                    | 37,75                   |

Při návrhu a výpočtech parametrů je potřeba zohlednit okrajové podmínky v uvedené lokalitě.

Tab. 24. Výpočtové okrajové podmínky

|  |          |
|--|----------|
| <b>Lokalita</b>                                    | Kroměříž |
| <b>Nadmořská výška</b>                             | 207 m    |
| <b>Venkovní výpočtová teplota</b>                  | - 12 °C  |
| <b>Venkovní výpočtová teplota v otopném období</b> | - 3,9 °C |
| <b>Počet otopných dní</b>                          | 227 dní  |

## 11 TEPELNÉ PARAMETRY RODINNÉHO DOMU

### 11.1 Stanovení součinitele prostupu tepla

Tepelné vlastnosti stavebních konstrukcí jsou důležitým faktorem pro návrh technických zařízení a jsou základním ukazatelem k hodnocení kvality. Hodnoty součinitele prostupu tepla byly získány výpočtem nebo z informačních materiálů výrobců.

Získané hodnoty a normativní požadavky pro konstrukce rodinného domu byly získány dle rovnic uvedených v kapitole 4.1. Na základě získaných údajů o rodinném domě je možné navrhnout celou soustavu pro tvorbu tepelné pohody a uživatelského komfortu. Návrh takového systému musí být efektivní nejen z ekonomického hlediska, ale také především z hlediska energetického.

Součinitel prostupu tepla je závislý na skladbě obvodového pláště budovy, která musí být navržena tak, aby nedocházelo ke kondenzaci vodních par v dané konstrukci a zároveň aby splňovala tepelně izolační vlastnosti. Přebytková vznikající vlhkost by zapříčinila zkrácení předpokládané životnosti konstrukce. Díky snížení vnitřní povrchové teploty by došlo ke vzniku plísní. Z toho vyplývá, že roční množství vypařené vodní páry musí být vyšší než roční množství zkondenzované vodní páry, přičemž množství tohoto kondenzátu v konstrukci rodinného domu nesmí přesáhnout hodnotu  $0,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ .

**Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:**  
(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

| rozhraní:   | i    | 1-2  | 2-3  | 3-4  | 4-5   | 5-6   | e     |
|-------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| tepl.[C]:   | 18.5 | 18.4 | 14.3 | 14.3 | -14.5 | -14.6 | -14.8 |
| p [Pa]:     | 1285 | 1266 | 1037 | 1034 | 302   | 299   | 138   |
| p.sat [Pa]: | 2132 | 2117 | 1630 | 1628 | 172   | 172   | 168   |

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

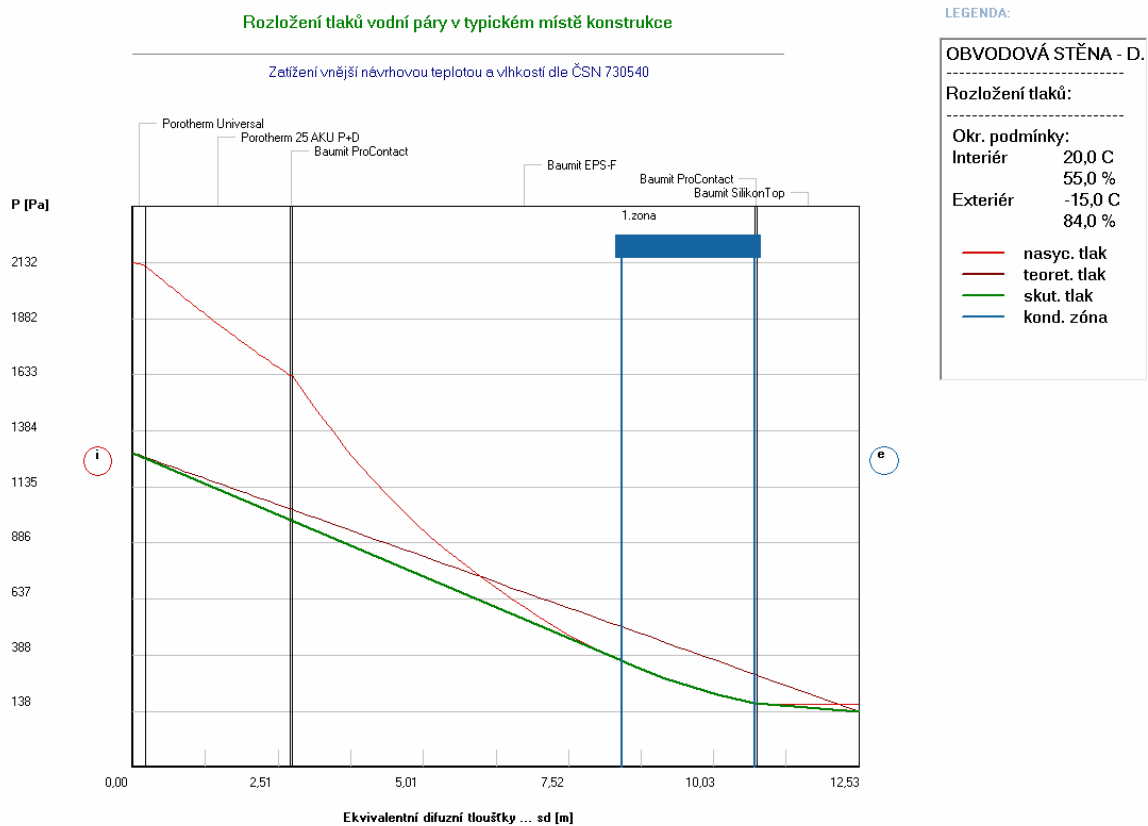
| Kond.zóna číslo | Hranice kondenzační zóny levá [m] | pravá [m] | Kondenzující množství vodní páry [kg/m2s] |
|-----------------|-----------------------------------|-----------|---|
| 1               | 0.4093                            | 0.4670    | 1.815E-0008                               |

**Celoroční bilance vlhkosti:**

Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ : 0.039 kg/m2,rok  
Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 1.078 kg/m2,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 0.0 C.

Obr. 11. Datový výstup aplikace Teplo



Obr. 12. Grafické zhodnocení kondenzace vodní páry v obvodovém plášti budovy

Z datových výstupů (Obr. 11) je zřejmé, že roční množství vypařené vodní páry je větší než roční množství zkondenzované vodní páry a zároveň celkové množství zkondenzované vodní páry nepřesahuje stanovenou mez  $0,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ . V grafickém vyjádření (Obr. 12) je hodnocené pásmo, kde by mohlo docházet ke kondenzaci, vyznačeno modrým pruhem.

Neméně důležitým parametrem v hodnocení budovy je průměrný součinitel prostupu tepla, který se stanoví dle rovnic (16) a (17). Získaný průměrný součinitel prostupu je následně porovnán s doporučenou a požadovanou hodnotou. Průměrný součinitel prostupu tepla pro tento sledovaný rodinný dům vyšel z podílu skutečného  $U_{EM} = 0,19 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$  a normovaného  $U_{EM} = 0,37 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$ . Z vypočtených hodnot je možné následně vystavit energetický štítek budovy, který v tomto případě odpovídá energetické třídě B, úsporný objekt.

Celkové zhodnocení součinitele prostupu tepla jednotlivých uvažovaných konstrukcí jsou shrnuty v tabulce (Tab. 25). Ze zjištěných skutečností je možné konstatovat, že

obvodový plášť splnil požadavky normy ČSN EN 73 0540 [6], [7], [8] a lze tedy konstrukci obvodového pláště využít k dalším výpočtům.

Tab. 25. Souhrn zjištěných hodnot součinitele prostupu tepla  $U$ , činitele teplotní redukce  $b$  a měrné ztráty prostupem  $H$  pro stanovení energetického štítku

|                            | $A$<br>[m <sup>2</sup> ] | $U_{SKUTEČNÉ}$<br>[W(m <sup>2</sup> ·K)] | $U_{REQ}$<br>[W(m <sup>2</sup> ·K)] | $U_{REC}$<br>[W(m <sup>2</sup> ·K)] | $b$  | $H_{SKUTEČNÉ}$ | $H_{NORMA}$ |
|----------------------------|--------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|------|----------------|-------------|
| Obvodová stěna (dům)       | 209,26                   | 0,17                                     | 0,30                                | 0,25                                | 0,66 | 23,89          | 41,43       |
| Obvodová stěna (ke garáži) | 15,39                    | 0,22                                     | 0,30                                | 0,25                                | 0,46 | 1,55           | 2,12        |
| Okna $U=0,7$               | 37,39                    | 0,70                                     | 1,50                                | 1,20                                | 1,00 | 26,17          | 56,09       |
| Okna $U=1,0$               | 7,00                     | 1,00                                     | 1,50                                | 1,20                                | 1,00 | 7,00           | 10,50       |
| Dveře                      | 3,60                     | 1,00                                     | 1,70                                | 1,20                                | 1,00 | 3,60           | 6,12        |
| Podlaha                    | 113,36                   | 0,18                                     | 0,45                                | 0,30                                | 1,00 | 20,86          | 51,01       |
| Střecha                    | 113,36                   | 0,20                                     | 0,30                                | 0,20                                | 0,57 | 12,86          | 19,38       |
| Celkem                     | 499,36                   | ---                                      | ---                                 | ---                                 | ---  | 95,93          | 186,66      |

Tab. 26. Výsledné hodnoty k vystavení energetického štítku

|                      |                    |
|----------------------|--------------------|
| $U_{EM}$ - normované | 0,37               |
| $U_{EM}$ - skutečné  | 0,19               |
| Energetický štítek   | B - Úsporná budova |
|                      | 0,51               |

## 11.2 Stanovení tepelných ztrát a zátopového tepelného výkonu

Neméně důležitou částí při návrhu technických zařízení je znalost tepelných ztrát jednotlivých místností. Tepelné ztráty jsou vypočteny podle normy ČSN EN 12831 [12]. Celý postup jak vypočítat tepelné ztráty je popsán v kapitole 4.4 K výpočtům byly použity standardní tepelné podmínky.

Další složkou, která pomáhá při návrhu vytápěcího zařízení, je zátopový tepelný výkon. Zátopový tepelný výkon, popsán v kapitole 4.6, vyrovnává účinek v prostorách s přerušovaným vytápěním. Protože rodinný dům bude převážně vytápěn teplovzdušným vytápěním a délka otopné přestávky by byla velice krátká, bude se uvažovat zátopový

tepelný výkon poloviční. Vytápění bude tedy pouze tlumené po dobu otopné přestávky, nikoli úplně přerušené.

Jsou-li nyní známy hodnoty tepelných ztrát a zátopového tepelného výkonu, je možné určit celkový návrhový výkon, který slouží k projektování výměníku tepla, podlahového vytápění a zdroje tepla. Celkový návrhový výkon je dán součtem vypočtených tepelných ztrát a zátopového tepelného výkonu.

$$\Phi_{HL} = \sum \Phi_{T,I} + \sum \Phi_{V,I} + \Phi_{RH} \quad [\text{W}] \quad (67)$$

$\Phi_{T,I}$  – návrhová tepelná ztráta prostupem tepla ve vytápěné místnosti [W]

$\Phi_{V,I}$  – návrhová tepelná ztráta větráním ve vytápěné místnosti [W]

$\Phi_{RH}$  – zátopový tepelný výkon [W]

Souhrn výsledků je uveden v tabulce (Tab. 27). Z těchto výsledných čísel lze vyčíst, že celkový návrhový výkon činí 7,8 kW, z čehož:

- tepelné ztráty prostupem  $\Phi_{T,I} = 3,23$  kW, tj. 41 % z celkového tepelného výkonu
- tepelné ztráty větráním  $\Phi_{V,I} = 1,92$  kW, tj. 24 % z celkového tepelného výkonu
- zátopový výkon  $\Phi_{RH} = 2,72$  kW, tj. 35 % z celkového tepelného výkonu

Tab. 27. Celkový návrhový výkon objektu

| Místnost       | Objem místnosti [m <sup>3</sup> ] | Ztráty prostupem [W] | Ztráty větráním [W] | Zátopový výkon [W] | Návrhový výkon [W] |
|----------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Zádveří        | 13,75                             | 227,00               | 30,26               | 58,50              | 315,76             |
| WC, sprcha     | 16,80                             | 102,00               | 274,00              | 79,50              | 455,50             |
| Tech. místnost | 14,50                             | 116,00               | 31,91               | 64,00              | 211,91             |
| Jídelna        | 81,40                             | 169,00               | 179,12              | 218,50             | 566,62             |
| Kuchyň         | 30,25                             | 208,00               | 66,56               | 105,00             | 379,56             |
| Obývací pokoj  | 67,10                             | 488,00               | 147,65              | 241,50             | 877,15             |
| Ložnice        | 36,30                             | 268,00               | 79,88               | 139,00             | 486,88             |
| Pokoj 1        | 27,20                             | 230,00               | 59,85               | 210,00             | 499,85             |
| Pokoj 2        | 27,30                             | 195,00               | 60,07               | 264,00             | 519,07             |
| Ložnice        | 37,70                             | 267,00               | 82,96               | 283,00             | 632,96             |
| WC             | 10,40                             | 72,00                | 170,00              | 77,00              | 319,00             |
| Koupelna       | 25,85                             | 126,00               | 471,00              | 182,00             | 779,00             |
| Šatna          | 15,95                             | 171,00               | 35,10               | 137,00             | 343,10             |
| Hala           | 71,50                             | 303,00               | 157,33              | 445,00             | 905,33             |
| Pracovna       | 37,75                             | 289,00               | 83,07               | 220,00             | 592,07             |
| Celkem         |                                   | 3231,00              | 1928,75             | 2724,00            | 7883,75            |

### 11.3 Stanovení tepelných zisků

Stanovení tepelných zisků bylo určeno ke zjištění tepelné zátěže rodinného domu v letních měsících. V tomto období se vytváří nadprůměrná produkce tepla a také dochází k možnému přehřívání obytných místností. Zjištěné hodnoty tepelných zisků slouží při návrhu chladicí soustavy.

Výpočet tepelných zisků byl zjištěn v aplikaci „Výpočet tepelných zisků“ od společnosti „QPro“. Tato aplikace splňuje požadavky normy ČSN 73 0548 [30]. Vstupní údaje k výpočtům tepelných zisků vycházely ze součinitele prostupu tepla, jehož hodnoty jsou uvedeny v tabulce (Tab. 25) a z dalších hlavních parametrů, které jsou v tabulce (Tab. 28).

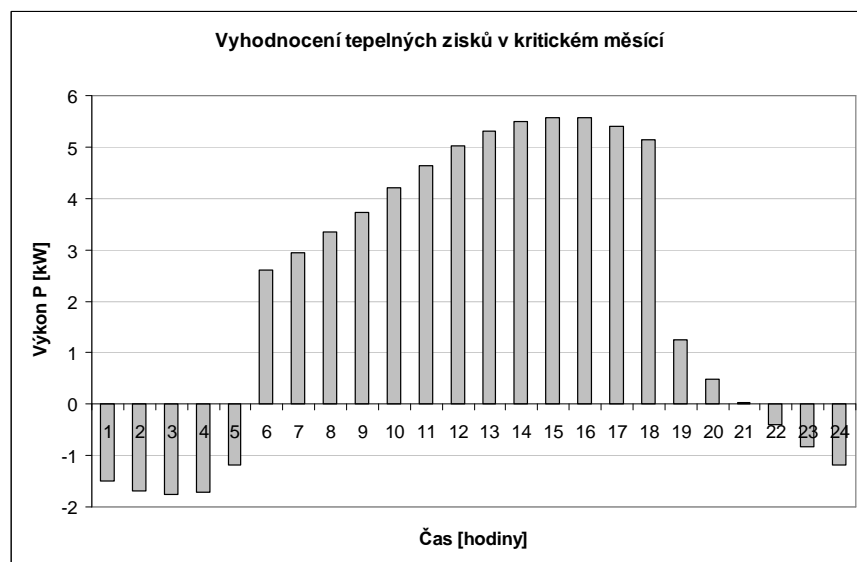
Tab. 28. Vstupní parametry pro výpočet tepelných zisků

|  |       |
|--|-------|
| Maximální vnější výpočtová teplota vzduchu | 32 °C |
| Vnitřní výpočtová teplota vzduchu          | 25 °C |
| Intenzita výměny vzduchu v objektu         | 0,5   |
| Počet osob                                 | 5     |

Z výsledků propočtu vyplývá, jak ukazuje tabulka (Tab. 29) a Graf 6, že největší tepelné zisky jsou v měsíci červenci v 15 hodin. Tyto tepelné zisky dosahují hodnoty  $P = 5572 \text{ W}$ . Kompletní tabulka z tepelnými zisky je uvedena v Příloze I.

Tab. 29. Vyhodnocení výpočtu tepelných zisků

| Měsíc | Hodiny |       |       |      |      |      |      |       |       |
|-------|--------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|
|       | 11     | 12    | 13    | 14   | 15   | 16   | 17   | 18    | 19    |
| 1     | -1694  | -1322 | -1029 | -829 | -757 | -773 | -946 | -1189 | -4951 |
| 2     | 65     | 433   | 733   | 921  | 997  | 983  | 816  | 569   | -3537 |
| 3     | 1477   | 1847  | 2141  | 2335 | 2421 | 2397 | 2226 | 1980  | -2189 |
| 4     | 2737   | 3108  | 3406  | 3599 | 3673 | 3660 | 3491 | 3243  | -1036 |
| 5     | 3772   | 4174  | 4466  | 4667 | 4749 | 4733 | 4554 | 4311  | 426   |
| 6     | 4377   | 4750  | 5045  | 5232 | 5320 | 5296 | 5130 | 4886  | 1195  |
| 7     | 4634   | 5011  | 5306  | 5490 | 5572 | 5560 | 5393 | 5150  | 1237  |
| 8     | 4544   | 4915  | 5211  | 5404 | 5483 | 5466 | 5296 | 5052  | 776   |
| 9     | 3856   | 4236  | 4525  | 4719 | 4797 | 4777 | 4608 | 4367  | 323   |
| 10    | 3132   | 3542  | 3827  | 4019 | 4102 | 4084 | 3914 | 3680  | -468  |
| 11    | 1729   | 2101  | 2396  | 2592 | 2673 | 2650 | 2480 | 2235  | -1521 |
| 12    | 322    | 712   | 991   | 1180 | 1263 | 1240 | 1075 | 832   | -2742 |

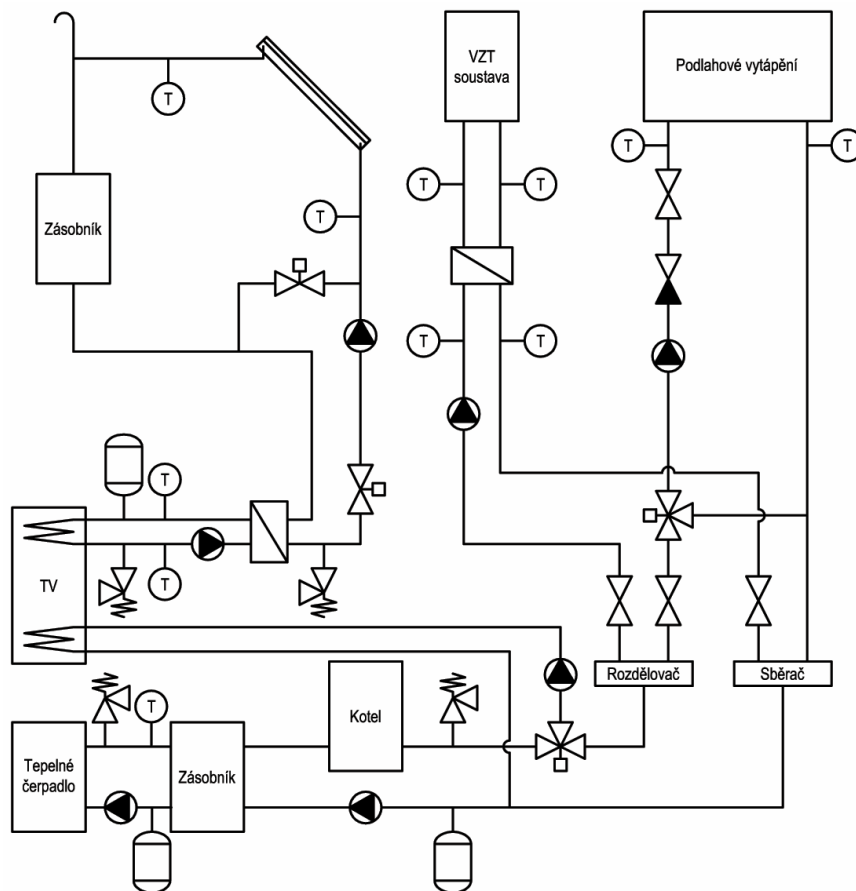


Graf 6. Grafické vyhodnocení tepelných zisků během dne

## 12 NÁVRH VYTÁPĚCÍ SOUSTAVY A OHŘEV TEPLÉ VODY

Vytápěcí soustava a soustava pro ohřev teplé vody je tvořena řadou mnoha zařízeními, která jsou k tomu určena. Základem vytápění je tepelné čerpadlo s plynovým kotlem, společně tak tvoří bivalentní zdroj tepla především pro vytápění a dále pak pro ohřev teplé vody. Systém ohřevu teplé vody je napojen na solární soustavu se slunečními kolektory.

Celá soustava je doplněna o pojistná zařízení, která slouží k bezpečnému provozu a zabráňují tak zmírnit následky případné poruchy v potrubí.



Obr. 13. Nákres vytápěcí soustavy a soustavy pro ohřev TV

### 12.1 Návrh tepelného čerpadla

Aby bylo možné vybrat správné tepelné čerpadlo pro navrhovaný systém, je zapotřebí nejprve stanovit topný faktor tepelného čerpadla (33).

$$COP = k \cdot \frac{\theta_s}{\theta_s - \theta_z} = 0,5 \cdot \frac{50 + 273,15}{(50 + 273,15) - (0 + 273,15)} = 3,23$$

Do navrhovaného systému bylo vybráno tepelné čerpadlo s topným faktorem je 4,3, což je dostačující. Z technické dokumentace bylo zjištěno, že tepelný výkon tepelného čerpadla činí 11,1 kW, příkon 6,6 kW. Nyní je možné stanovit hodnotu chladicího výkonu (34).

$$Q_{CH} = Q_{TC} - P_{TC} = 11,1 - 6,6 = 4,5 \text{ kW}$$

Po stanovení chladicího výkonu tepelného čerpadla a za předpokladu vlhké písčité půdy dle tabulky (Tab. 20), je možné určit účinnou plochu, která bude potřeba pro instalaci zemního kolektoru.

$$A = \frac{Q_{CH}}{q_P} = \frac{4500}{17} = 264 \text{ m}^2$$

Tab. 30. Parametry tepelného čerpadla

| Parametr             | Hodnota |
|----------------------|---------|
| Výkon čerpadla [kW]  | 11,1    |
| Příkon čerpadla [kW] | 6,6     |
| Topný faktor [-]     | 4,5     |

## 12.2 Vytápěcí kotel na přípravu vody v otopné soustavě

Navržený kotel k přípravě teplé otopné vody a teplé vody, by měl pokrýt celý výkon otopné soustavy a to hlavně v případě výpadku tepelného čerpadla. Do rodinného domu byl vybrán elektrický kotel, který bude zapojen v bivalentním provozu s tepelným čerpadlem. Tento kotel dokáže vyprodukovat až 18 kW, což je dostačující výkon i pro případný výpadek tepelného čerpadla. Jelikož v běžném provozu kotel poběží na minimální úrovni výkonu, je nevhodné investovat do plynové přípojky.

Tab. 31. Parametry vytápěcího kotle

| Parametr                         | Hodnota |
|----------------------------------|---------|
| Max. tepelný výkon [kW]          | 18      |
| Účinnost [%]                     | 99.5    |
| Rozsah nastavení teploty OV [°C] | 25 - 85 |
| Objem expanzní nádoby [l]        | 7       |
| Elektrické krytí                 | IPX4D   |
| Hmotnost (bez vody) [kg]         | 34      |

### 12.3 Požadavky na přípravu teplé vody

Potřeba teplé vody je vypočtena pro 5 osob, přičemž potřeba teplé vody pro jednu osobu je 4,3 kWh. Požadavky na přípravu teplé vody jsou vypočteny podle kapitoly (Kap. 7.3.1.) Celková potřeba tepla na ohřev vody pro domácnost tedy bude:

$$Q_{TP} = n \cdot 4,3 = 5 \cdot 4,3 = 21,5 \text{ kWh}$$

Ztráty tepla při ohřevu a distribuci teplé vody původní teoretické potřeby jsou:

$$Q_{ZT} = z \cdot Q_{2T} = 0,5 \cdot 21,5 = 10,75 \text{ kWh}$$

Teplu dodané ohříváčem do vody během periody ohřevu:

$$Q_P = Q_{ZT} + Q_{TP} = 21,5 + 10,75 = 32,25 \text{ kWh}$$

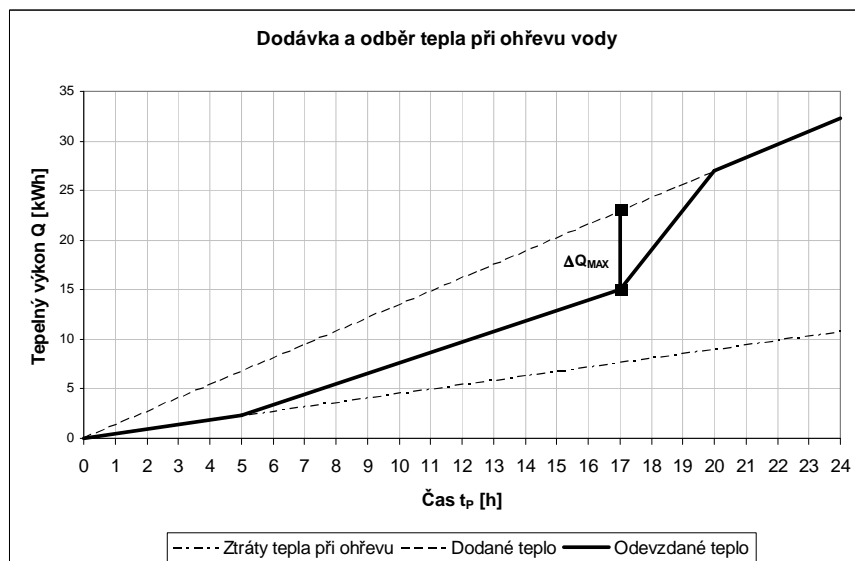
Celkové množství teplé vody v odebírané době:

$$5 - 17 \text{ hod.} \quad 35\% \quad Q_{TP1} = 0,35 \cdot 21,5 = 7,525 \text{ kWh}$$

$$17 - 20 \text{ hod.} \quad 50\% \quad Q_{TP2} = 0,5 \cdot 21,5 = 10,75 \text{ kWh}; \text{ od počátku: } Q_{TP2} = 18,275 \text{ kWh}$$

$$20 - 24 \text{ hod.} \quad 15\% \quad Q_{TP3} = 0,15 \cdot 21,5 = 3,225 \text{ kWh}; \text{ od počátku: } Q_{TP3} = 21,5 \text{ kWh}$$

Pomocí grafického určení vyšel největší rozdíl odebíraného tepla 7,33 kWh.



Graf 7. Dodávka a odběr tepla při ohřevu vody

Velikost zásobníku teplé vody:

$$V_Z = \frac{\Delta Q_{MAX}}{c_p \cdot \Delta \theta} = \frac{7,33}{1,163 \cdot (55 - 10)} = 0,14 m^3 = 140 l$$

Jmenovitý tepelný výkon ohřívače teplé vody:

$$\Phi = \frac{Q_P}{t_P} = \frac{32,25}{24} = 1,34 kW$$

Tab. 32. Parametry zásobníku na teplou vodu

| Parametr                 | Hodnota |
|--------------------------|---------|
| Objem [l]                | 147     |
| Příkon [kW]              | 2       |
| Hmotnost [kg]            | 66      |
| Pojistka proti zamrznutí | ano     |
| Pojistka proti přehřátí  | ano     |
| Regulace teploty         | ano     |

## 12.4 Návrh solárního kolektoru pro ohřev teplé vody

Pro optimální návrh solárních kolektorů poslouží znalost průměrné denní spotřeby teplé vody a údaj o spotřebě energie k jejímu ohřevu. Výchozí hodnoty, které jsou vztažené na jednu osobu, jsou dány podle tabulky (Tab. 21). Předpokládá se tedy, že na jednu osobu připadá 45 litrů, čemuž odpovídá spotřeba energie 1,85 kWh/den.

Z těchto předpokladů je možné vypočítat podle rovnice (45) velikost akumulčního zásobníku k uchování teplé vody.

$$V_{ZAS} = 2 \cdot V_{OS} \cdot n = 2 \cdot 45 \cdot 5 = 450 l$$

Roční spotřeba energie k ohřevu podle rovnice (46) bude:

$$Q_{TV} = 365 \cdot Q_{OS} \cdot n = 365 \cdot 1,85 \cdot 5 = 3376 kWh$$

Ze zjištěné spotřeby je nyní možné spočítat velikost solárního kolektoru, resp. jeho zaobíranou plochu. Sklon kolektoru je přibližně určen na 30 °, kterému odpovídá solární zisk 1,1. Roční sluneční radiace rovna 1000 kWh/m<sup>2</sup>.

$$A_{KOL} \approx \frac{0,6}{0,3} \cdot \frac{Q_{TV}}{H_{SOLAR} \cdot f_{SKLON}} \approx \frac{0,6}{0,3} \cdot \frac{3376}{1000 \cdot 1,1} \approx 6,12 m^2$$

Bude-li se předpokládat průměrná velikost solárního kolektoru 2,4 m<sup>2</sup>, bude k instalaci potřeba 3 kusů těchto kolektorů, pro získání dané energie.

Tab. 33. Parametry solárního kolektoru

| Parametr                           | Hodnota |
|------------------------------------|---------|
| Plocha kolektoru [m <sup>2</sup> ] | 2,4     |
| Objem kapaliny [l]                 | 1,7     |
| Maximální pracovní tlak [bar]      | 6       |
| Hmotnost [kg]                      | 47      |

## 12.5 Návrh teplovzdušného vytápění

Primárním vytápěcím systémem bude pro rodinný dům teplovzdušná vytápěcí soustava, která musí zajistit minimální výměnu vzduchu 0,5 h<sup>-1</sup>. Jelikož je celkový objem vzduchu vytápěných místností 446 m<sup>3</sup>, je potřeba podle rovnice (50) za hodinu přivést 223 m<sup>3</sup> čerstvého vzduchu.

$$\dot{V}_c = \dot{V}_o = n \cdot V = 0,5 \cdot 446 = 223 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Teplovzdušným vytápěním se musí pokrýt celkové ztráty vytápěných místností, kromě koupelen a toalet, kde bude použito doplňkové podlahové vytápění. Celkové tepelné ztráty tedy jsou 3796 W.

Podle rovnice (48) je vypočteno celkové množství přiváděného vzduchu do objektu, které je zároveň součtem přiváděného vzduchu do jednotlivých místností. Teplota přiváděného vzduchu k vytápění se pohybuje přibližně, dle [24] a [25], v rozmezí od 40 °C do 45 °C.

$$\dot{V}_p = \frac{Q_{ZTR}}{\rho \cdot c \cdot \Delta\theta} = \frac{3796}{1,08 \cdot 1300 \cdot 20} = 486 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,14 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Určením rozdílu přiváděného vzduchu a čerstvého venkovního vzduchu, resp. odpadního vzduchu, je získána hodnota cirkulačního vzduchu podle rovnice (52).

$$\dot{V}_c = \dot{V}_p - \dot{V}_o = 486 - 223 = 263 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,07 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Množství přiváděného vzduchu do jednotlivých místností je uvedeno v tabulce (Tab. 34).

Tab. 34. Množství přiváděného vzduchu teplovzdušným vytápěním

| Místnost      | Číslo | Vzduch [m <sup>3</sup> /h] |           |            |         |
|---------------|-------|----------------------------|-----------|------------|---------|
|               |       | Čerstvý                    | Přiváděný | Cirkulační | Odpadní |
| Zádveří       | 1.7   | 6,88                       | 32,98     | 26,11      | 6,88    |
| Jídelna       | 1.3   | 40,70                      | 44,63     | 3,93       | 40,70   |
| Kuchyň        | 1.4   | 15,13                      | 35,20     | 20,08      | 15,13   |
| Obývací pokoj | 1.1   | 33,55                      | 81,49     | 47,94      | 33,55   |
| Ložnice       | 1.2   | 18,15                      | 44,60     | 26,45      | 18,15   |
| Pokoj 1       | 2.3   | 13,60                      | 37,16     | 23,56      | 13,60   |
| Pokoj 2       | 2.4   | 13,65                      | 32,70     | 19,05      | 13,65   |
| Ložnice       | 2.5   | 18,85                      | 44,87     | 26,02      | 18,85   |
| Šatna         | 2.6   | 7,98                       | 26,42     | 18,45      | 7,98    |
| Hala          | 2.1   | 35,75                      | 59,02     | 23,27      | 35,75   |
| Pracovna      | 2.2   | 18,88                      | 47,70     | 28,83      | 18,88   |
| Celý objekt   | XX    | 223,10                     | 486,77    | 263,67     | 223,10  |

Na základě získaných hodnot a Mollierova H-x diagramu (Obr. 14) je možné vypočítat a určit parametry vzduchotechnické jednotky.

Prvním krokem je výpočet hmotnostních průtoků jednotlivých vzduchů – čerstvého, cirkulačního a přiváděného.

- Čerstvý vzduch:  $\dot{m}_c = \dot{V}_c \cdot \rho = 0,06 \cdot 1,27 = 0,08 \frac{kg}{s}$
- Cirkulační vzduch:  $\dot{m}_c = \dot{V}_c \cdot \rho = 0,07 \cdot 1,16 = 0,08 \frac{kg}{s}$
- Přiváděný vzduch:  $\dot{m}_p = \dot{V}_p \cdot \rho = \dot{m}_c + \dot{m}_c = 0,08 + 0,08 = 0,16 \frac{kg}{s}$

Z Mollierova H-x diagramu je odečtena měrná vlhkost vnitřního vzduchu, která je dosazena do vzorce pro výpočet měrné vlhkosti k určení bodu smísení čerstvého a cirkulačního vzduchu.

$$x_1 = \frac{\dot{m}_c \cdot 1 + \dot{m}_c \cdot x_1}{\dot{m}_p} = \frac{0,08 \cdot 1 + 0,08 \cdot 8,4}{0,16} = 4,84 \frac{g}{kg}$$

Předpokládá se, že člověk v zimě vyprodukuje přibližně 60 gramů potu za hodinu. Znamená to tedy, že pět osob v domě vyprodukuje 0,08 g/s.

$$\dot{m}_{OS5} = n \cdot \frac{\dot{m}_{OS1}}{3600} = 5 \cdot \frac{60}{3600} = 0,08 \frac{g}{s}$$

Z tohoto bodu je smíšený vzduch zvlhčen parou na hodnotu  $x_z$ . Tento bod je dán rozdílem měrné vlhkosti vnitřního prostředí a vyprodukovanou vlhkostí od lidí.

$$\Delta x = \frac{\dot{m}_{OS5}}{\dot{m}_p} = \frac{0,08}{0,16} = 0,5 \frac{g}{kg}$$

$$x_z = x_l - \Delta x = 8,4 - 0,5 = 7,9$$

Následně je vzduch ohřát na teplotu přívodního vzduchu, tak aby byly pokryty celkové tepelné ztráty.

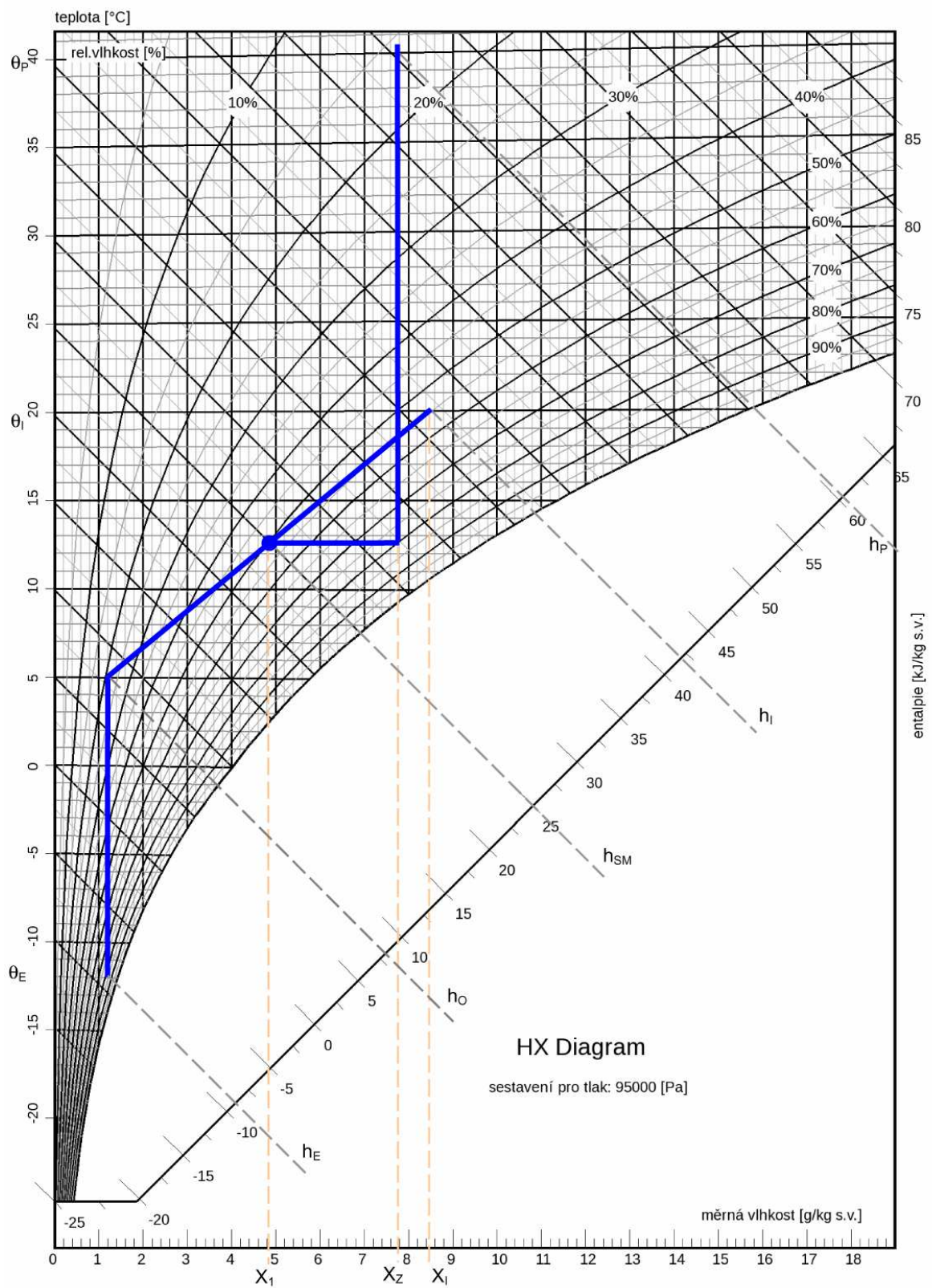
$$Q_{ZTR} = c_p \cdot \dot{m}_p \cdot \Delta\theta \quad \rightarrow \quad \theta_p = \frac{Q_{ZTR} + c_p \cdot \dot{m}_p \cdot \theta_l}{c_p \cdot \dot{m}_p} = \frac{3796 + 1300 \cdot 0,16 \cdot 20}{1300 \cdot 0,16} = 40,6^\circ C$$

Nyní jsou známy všechny hodnoty pro výpočet parametrů vzduchotechnické jednotky při vlhčení parou.

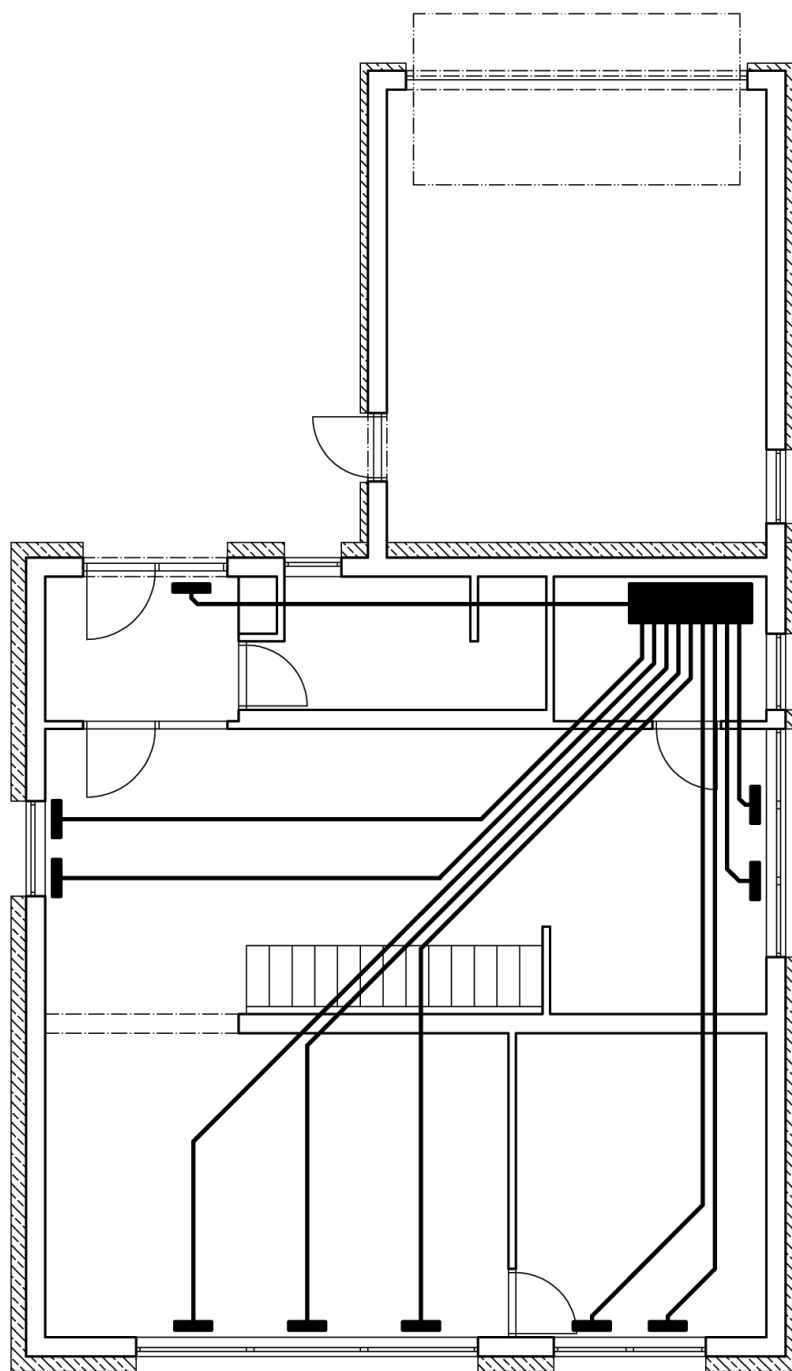
- Výkon předehřívače:  $P_1 = \dot{m}_c \cdot (h_o - h_E) = 0,08 \cdot (8 + 9) = 1,34 kW$
- Výkon ohřívače:  $P_2 = \dot{m}_p \cdot (h_p - h_{SM}) = 0,16 \cdot (60 - 25) = 5,73 kW$

Tab. 35. Parametry vzduchotechnické jednotky

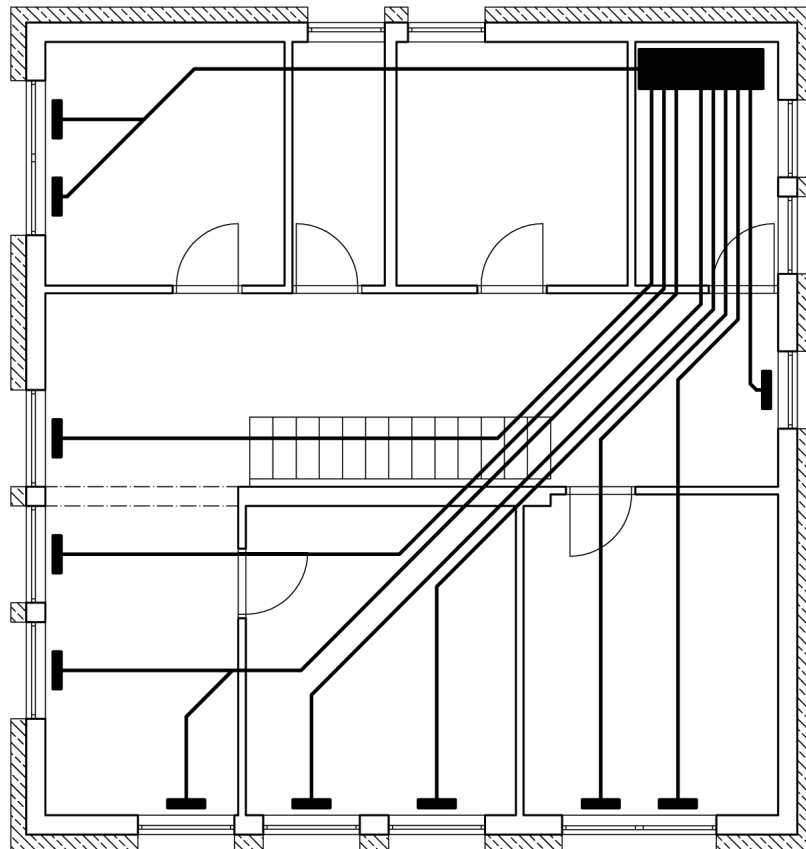
| Parametr  | Hodnota |
|---|---------|
| Průtok cirkulačního vzduchu [m <sup>3</sup> /h] | 1300    |
| Průtok větracího vzduchu [m <sup>3</sup> /h]    | 350     |
| Účinnost rekuperace [%]                         | 91      |
| Integrace chlazení                              | ano     |
| Vestavěná regulace                              | ano     |



Obr. 14. Mollierův H-x diagram pro zimní provoz



Obr. 15. Rozmístění podlahových vyústek v 1. NP



Obr. 16. Rozmístění podlahových vyústek v 2. NP

## 12.6 Návrh vzduchotechnického chlazení

Úkolem vzduchotechnické jednotky není jen vytápění prostor domu, ale také případné chlazení v letních měsících, kdy může docházet k přehřívání místností. Vzduchotechnické chlazení musí pokrýt tepelné zisky z okolí, které činí 4984 W. Podmínky pro chlazení jsou obdobné jako u teplovzdušného vytápění, tzn. že musí být zajištěna minimální intenzita výměny vzduchu  $0,5 \text{ h}^{-1}$ . v celém objektu, je tedy nutné za hodinu vyměnit  $223 \text{ m}^3$  vzduchu.

- Čerstvý vzduch:  $\dot{V}_c = \dot{V}_o = n \cdot V = 0,5 \cdot 446 = 223 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
- Přiváděný vzduch:  $\dot{V}_p = \frac{Q_{zís}}{\rho \cdot c \cdot \Delta\theta} = \frac{4984}{1,08 \cdot 1300 \cdot 8} = 0,42 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1500 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$
- Cirkulační vzduch:  $\dot{V}_c = \dot{V}_p - \dot{V}_o = 1500 - 223 = 0,35 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1277 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

Hmotnostní průtoky jednotlivých proudů vzduchu tedy jsou:

- Čerstvý vzduch:  $\dot{m}_c = \dot{V}_c \cdot \rho = 0,06 \cdot 1,08 = 0,07 \frac{kg}{s}$
- Cirkulační vzduch:  $\dot{m}_C = \dot{V}_C \cdot \rho = 0,35 \cdot 1,12 = 0,40 \frac{kg}{s}$
- Přiváděný vzduch:  $\dot{m}_p = \dot{V}_p \cdot \rho = \dot{m}_c + \dot{m}_C = 0,40 + 0,07 = 0,47 \frac{kg}{s}$

Z Mollierova H-x diagramu jsou odečteny hodnoty měrné vlhkosti venkovního a vnitřního vzduchu, pomocí kterých je vypočtena měrná vlhkost bodu smísení.

$$x_1 = \frac{\dot{m}_c \cdot x_c + \dot{m}_C \cdot x_l}{\dot{m}_p} = \frac{0,07 \cdot 12,8 + 0,4 \cdot 10,4}{0,46} = 10,75 \frac{g}{kg}$$

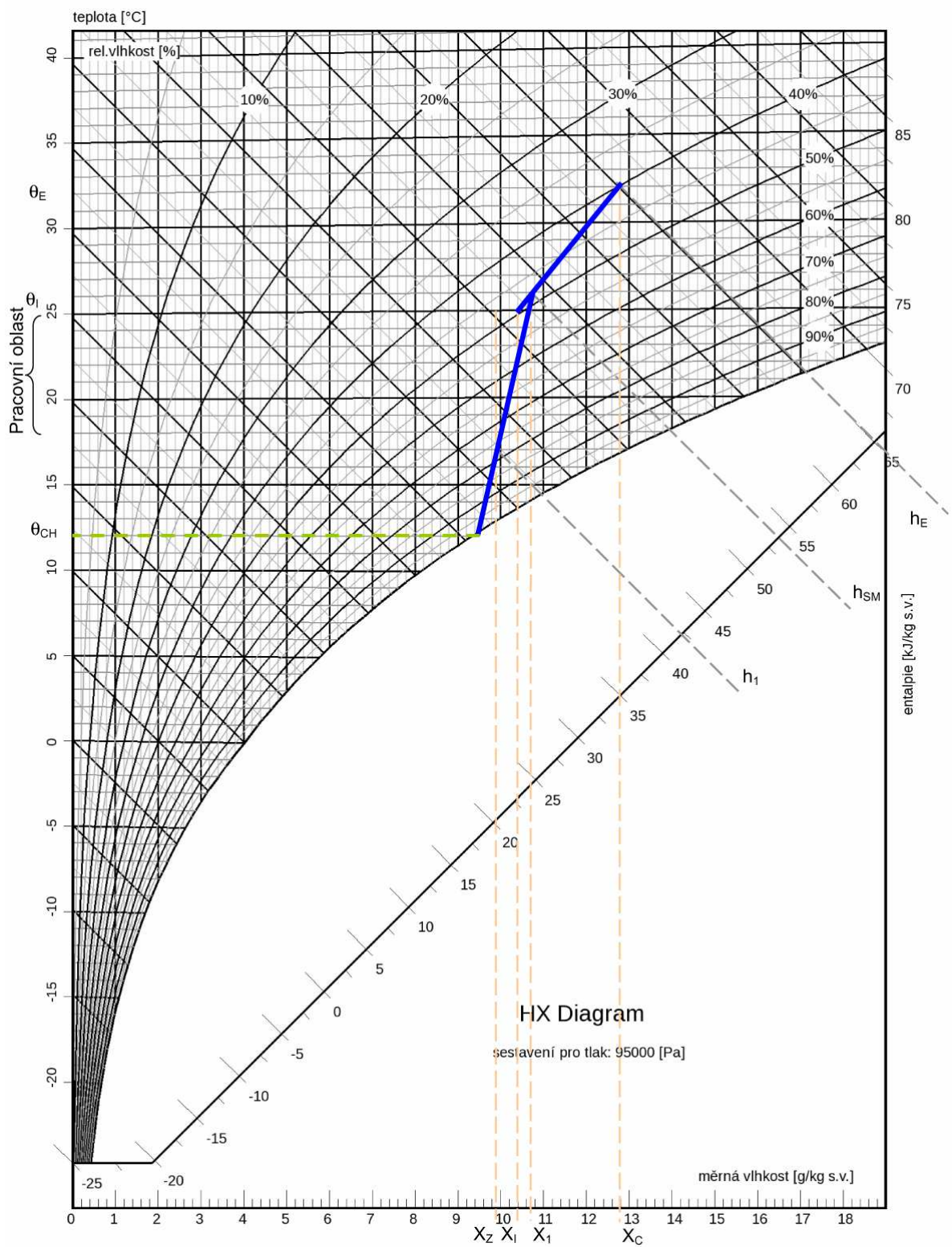
Dále je vypočtena hodnota  $\Delta x$ , která představuje rozdíl vlhkosti od lidí. V letním období člověk vyprodukuje okolo 100 gramů potu za hodinu.

$$\dot{m}_{OS5} = n \cdot \frac{\dot{m}_{OS1}}{3600} = 5 \cdot \frac{100}{3600} = 0,14 \frac{g}{s}$$

$$\Delta x = \frac{\dot{m}_{OS5}}{\dot{m}_p} = \frac{0,14}{0,46} = 0,3 \frac{g}{kg}$$

Nyní je možné situaci zakreslit do Mollierova H-x diagramu a odečíst hodnoty pro výpočet výkonu chladiče vzduchotechnické jednotky.

- Výkon chladiče:  $P_1 = \dot{m}_p \cdot (h_{SM} - h_1) = 0,46 \cdot (54 - 43) = 5,11 kW$



Obr. 17. Mollierův H-x diagram pro letní provoz

## 12.7 Návrh rozvodů vzduchotechnického zařízení

Na základě zjištěných průtoků vzduchu a tlakových vztahů ve vzduchotechnickém potrubí byl proveden návrh ventilátoru, který se opírá o tlakové ztráty tohoto vedení. Tlakové ztráty byly spočteny metodou konstantního tlakového spádu. Podle získané tlakové ztráty byl navržen ventilátor čerstvého vzduchu resp. jeho dopravní tlak.

$$\Delta p_z = \left( \frac{\lambda \cdot L}{d} + \sum \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \text{ [Pa]} \quad (68)$$

$\lambda$  – součinitel tření [-]

$L$  – délka potrubí [m]

$d$  – ekvivalentní průměr potrubí [m]

$\xi$  – součinitel místního odporu [-]

$w$  – rychlost proudícího vzduchu [m/s]

$\rho$  – hustota vzduchu [kg/m<sup>3</sup>]

Rozvod vzduchu ze vzduchotechnické jednotky je konstruován pomocí plochých potrubních vzduchovodů zakončených podlahovými kanálky o rozměrech 200 x 50 milimetrů. Regulace přiváděného a odváděného vzduchu je provedena pomocí škrťících klapek, které jsou součástí všech rozvodných větví. Jednotlivé klapky budou natáčeny servomotory napojenými na elektronickou sběrnici. Elektronické ovládání zajistí natočení klapek jak na přívodním, tak i na odtahovém potrubí, soustava tak bude rovnotlaká.

Pro výpočet tlakových ztrát vzduchovodů byl dán  $\lambda = 0,0193$ ,  $w = 5$  m/s a  $\xi = 18$ . Délka potrubí činí 111 metrů s ekvivalentním průměrem potrubí 80 milimetrů. Hodnoty konstantního tlakového spádu jsou voleny od 0,5 Pa/m do 3 Pa/m.

$$\Delta p_z = \left( \frac{\lambda \cdot L}{d} + \sum \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = \left( \frac{0,0193 \cdot 111}{0,08} + 18 \right) \cdot \frac{5^2}{2} \cdot 1,08 = 604 \text{ Pa}$$

Pomocí této rovnice je možné vybrat centrální ventilátor pro odtah vzduchu, centrální ventilátor pro přívod čerstvého venkovního vzduchu, který je implementován ve vzduchotechnické jednotce. Jednotlivé odtahové ventilátory pro místnosti se sociálním zařízením musí splnit minimální požadavek 60 m<sup>3</sup>/h.

## 12.8 Podlahové vytápění

K navrženému teplovzdušnému vytápění bylo nainstalováno doplňkové podlahové vytápění, pomocí kterého je snaha docílit vyšší komfort bydlení. Podlahové vytápění bylo navrženo v koupelně, ve sprše a na toaletách v obou patrech rodinného domu. Úkolem tohoto druhu vytápění je zamezit nepříjemnému pocitu chladu nohou. V místnostech se sociálním zařízením se počítá s vnitřní výpočtovou teplotou vzduchu 24 °C. Vzdálenost potrubí byla zvolena 75 milimetrů, průměr potrubí 18 milimetrů.

Pro návrh podlahového vytápění je nutné znát délku otopné smyčky (61) a tepelný tok podlahového vytápění podle rovnice (53). Tepelný tok musí být nižší než 100 W/m<sup>2</sup>, aby bylo možné použít jednu topnou smyčku v podlaze. Bude-li hodnota vyšší, musí se zóna vytápět více topnými smyčkami.

$$l = \frac{A_p}{T} = \frac{9,45}{0,075} = 126m$$

$$q = \frac{P_p}{A_p} = \frac{779}{9,45} = 82,43 \frac{W}{m^2}$$

Je-li stanoven tepelný tok, je nyní možné vypočítat střední teplotu podlahy (54).

$$\theta_F = \left( \frac{q}{8,92} \right)^{1,1} + \theta_I = \left( \frac{82,43}{8,92} \right)^{1,1} + 24 = 31,55^\circ C$$

Požadovaný výkon podlahového topení k pokrytí tepelných ztrát bude následně vypočítán podle rovnice (55).

$$P_{POŽ} = A_p \cdot q \cdot \left( 1 + \frac{R_O}{R_U} + \frac{\theta_I - \theta_U}{q \cdot R_U} \right) = 9,45 \cdot 82,43 \cdot \left( 1 + \frac{0,125}{0,75} + \frac{24 - 24}{85,35 \cdot 0,75} \right) = 908,83W$$

Charakteristické číslo podlahy ke stanovení průměrné teploty cirkulující vody v potrubí a teploty vratné vody z potrubí je vypočteno podle rovnice (56).

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot (R_O^{-1} + R_U^{-1})}{\pi^2 \cdot \lambda_D \cdot d}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (0,125^{-1} + 0,75^{-1})}{\pi^2 \cdot 1,1 \cdot 0,018}} = 9,77$$

Průměrná teplota cirkulační vody bude vypočtena podle rovnice (57).

$$\theta_M = (\theta_F - \theta_I) \cdot R_o \cdot h_p \cdot \frac{m \cdot \frac{T}{2}}{\operatorname{tgh}\left(m \cdot \frac{T}{2}\right)} = (31,55 - 24) \cdot 0,125 \cdot 10,75 \cdot \frac{9,77 \cdot \frac{0,075}{2}}{\operatorname{tgh}\left(9,77 \cdot \frac{0,075}{2}\right)} = 34^\circ\text{C}$$

Návrh podlahového vytápění uzavírají hydraulické výpočty, které se využijí k dalším výpočtům otopné soustavy. Hmotnostní průtok je stanoven dle rovnice (58).

$$\dot{m} = \frac{P_{\text{pož}}}{c_p \cdot \Delta\theta} \cdot 3600 = \frac{908,83}{4180 \cdot 5} \cdot 3600 = 0,04 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Rychlost proudění vody v potrubí podle rovnice (59).

$$w = \frac{\dot{m}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho} = \frac{0,04}{\frac{\pi \cdot 0,018^2}{4} \cdot 1000} = 0,17 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Celkové tlakové ztráty v okruhu podle rovnice (60).

$$\Delta p_z = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = 0,047 \cdot \frac{126}{0,018} \cdot \frac{0,17^2}{2} \cdot 1000 = 4803 \text{ Pa} = 4,8 \text{ kPa}$$

Obdobným způsobem se postupovalo při výpočtu dalších místností se sociálním zařízením. Výsledky jsou uvedeny v tabulce (Tab. 36).

Tab. 36. Parametry podlahového vytápění

|   | WC, sprcha<br>(1.6) | Koupelna<br>(2.7) | WC<br>(2.8) |
|---|---------------------|-------------------|-------------|
| <b>Tepelný výkon [W/m<sup>2</sup>]</b>      | 85                  | 82                | 84          |
| <b>Povrchová teplota podlahy [°C]</b>       | 32                  | 32                | 32          |
| <b>Požadovaný výkon na vstupu [W]</b>       | 667                 | 909               | 372         |
| <b>Charakteristické číslo podlahy [-]</b>   | 9,8                 | 9,8               | 9,8         |
| <b>Průměrná teplota vody v potrubí [°C]</b> | 34                  | 34                | 34          |
| <b>Hmotnostní průtok [kg/h]</b>             | 0,03                | 0,04              | 0,02        |
| <b>Délka potrubí [m]</b>                    | 71                  | 126               | 50          |
| <b>Rychlost proudění [m/s]</b>              | 0,13                | 0,17              | 0,07        |
| <b>Tlaková ztráta [Pa]</b>                  | 1460                | 4804              | 322         |

## 12.9 Návrh zabezpečovacích zařízení

Účelem zabezpečovacího zařízení je zajistit bezproblémový a bezpečný provoz ohřevu teplé vody a vytápění. Hlavními součástmi jsou pojistné ventily a expanzní nádrže, které zabezpečují ochranu proti překročení maximálních mezních hodnot podtlaku a přetlaku v soustavě. Dále zabezpečuje soustavu proti nedostatku vody nebo překročení povolené teploty. Návrh zabezpečovacích zařízení byl proveden dle normy ČSN 06 8030 [31].

Při návrhu pojistného ventilu je důležité stanovit minimální průřez sedla a jeho vnitřní průměr. Pro pojistný ventil v hlavní větvi hydraulického okruhu s otevíracím přetlakem 4,5 bar a výtokovým součinitelem 0,444 byly zjištěny následující hodnoty:

$$S_{PV} = \frac{2 \cdot \Phi_P}{\alpha \cdot \sqrt{P_{OT}}} = \frac{2 \cdot 18}{0,444 \cdot \sqrt{450}} = \frac{36}{9,41} = 4 \text{ mm}^2$$

$S_{PV}$  – průřez sedla pojistného ventilu [ $\text{mm}^2$ ]

$\Phi_P$  – požadovaný výkon tepelného zdroje [kW]

$\alpha$  – výtokový součinitel pojistného ventilu [-]

$P_{OT}$  – otevírací přetlak pojistného ventilu [kPa]

$$d_p = 10 + 0,6 \cdot \sqrt{\Phi_P} = 10 + 0,6 \cdot \sqrt{18} = 12,54 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad \text{DN15}$$

$d_p$  – průměr pojistného ventilu [mm]

$\Phi_P$  – požadovaný výkon tepelného zdroje [kW]

Expanzní nádrž je navrhována pro stejný okruh jako pojistný ventil. Objem expanzní nádrže se vypočte podle vztahu (69):

$$V_{EN} = \frac{1,3 \cdot V_S \cdot \Delta v}{\eta} \quad [1] \quad (69)$$

$V_{EN}$  – objem expanzní nádrže [l]

$V_S$  – množství vody v soustavě [l]

$\Delta v$  – měrné zvětšení objemu [l/kW]

$\eta$  – stupeň využití expanzní nádrže [-]

Aby bylo možné zjistit celkový objem expanzní nádoby musí se provést dílčí výpočty jednotlivých parametrů.

Množství vody v celém topném okruhu je zjištěno z následujícího výpočtu, přičemž směrný objem je dán podle tabulky (Tab. 37).

$$V_S = v \cdot \Phi_p = 20 \cdot 18 = 360l$$

$V_S$  – množství vody v soustavě [l]

$v$  – směrná hodnota teplotosné látky [l/kW]

$\Phi_p$  – požadovaný výkon tepelného zdroje [kW]

Tab. 37. Směrné hodnoty teplotosné látky

| Výkon soustavy [kW]   | 10  | 100 | 350 | 1000 |
|-----------------------|-----|-----|-----|------|
| Konvektory            | 7,1 | 5,6 | 5   | 4,5  |
| Desková otopná tělesa | 11  | 9   | 7,5 | 7    |
| Podlahové vytápění    | 25  | 20  | 18  | 16   |

Měrné zvětšení objemu je posouzeno podle tabulky (Tab. 38), kde hodnota rozdílu teplot topné vody je vypočtena z rovnice:

$$\Delta\theta = \theta_{MAX} - 10 = 50 - 10 = 40K$$

$\Delta\theta$  – rozdíl teplot topné vody v otopné soustavě [°C]

$\theta_{MAX}$  – maximální teplota v otopné soustavě [°C]

Tab. 38. Měrné zvětšení objemu expanzní nádrže

| $\Delta\theta$ [K] | 0      | 10     | 20     | 30     | 40     | 45     | 50     | 55     | 60     |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\Delta v$ [l/kW]  | 0,0000 | 0,0014 | 0,0040 | 0,0075 | 0,0117 | 0,0141 | 0,0167 | 0,0195 | 0,0224 |

Stupeň využití expanzní nádrže je dán vztahem:

$$\eta = \frac{P_{H,DOV,ABS} - P_{D,DOV,ABS}}{P_{H,DOV,ABS}} = \frac{(p_{H,DOV} + 100) - (p_{D,DOV} + 100)}{(p_{H,DOV} + 100)} = \frac{(450 + 100) - (66 + 100)}{(450 + 100)} = 0,7$$

- Počáteční přetlak:  $p_{D,DOV} = 1,1 \cdot h \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3} = 1,1 \cdot 6,1 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} = 66kPa$
- Koncový přetlak:  $p_{H,DOV} = p_{OT} = 450kPa$

Nyní jsou známy všechny dílčí hodnoty pro výpočet objemu expanzní nádoby pro dosazení do rovnice (69):

$$V_{EN} = \frac{1,3 \cdot V_s \cdot \Delta v}{\eta} = \frac{1,3 \cdot 360 \cdot 0,0117}{0,7} \approx 10l$$

Souhrn navržených expanzních nádrží je uveden v tabulce (Tab. 39).

Tab. 39. Návrh expanzních nádrží

| Okruh                      | Objem expanzní nádrže [l] |
|----------------------------|---------------------------|
| Kotlový okruh              | 18                        |
| Okruh s tepelným čerpadlem | 12                        |
| Okruh teplé vody           | 8                         |

### 13 NÁVRH DOMOVNÍCH ELEKTRICKÝCH ROZVODŮ

Navržená elektroinstalace je rozdělena na dva celky, na distribuční přípojku nízkého napětí a vnitřní elektroinstalaci. Vnitřní silnoproudá elektroinstalace v rodinném domě slouží k napájení zásuvkových a světelných obvodů, které jsou samostatně jištěny. Slaboproudá elektroinstalace je navržena pro elektronické požární a zabezpečovací systémy, příjem televizního signálu, rozvod domovního telefonu a ovládání.

Hlavní domovní skříň, umístěna na hranici pozemku objektu, je napojena na rozvodnou síť nízkého napětí pomocí hlavního připojovacího vedení. Z této hlavní domovní skříňě je veden kabel do domovní rozvodnice. V domovní rozvodnici jsou umístěny především jističe jednotlivých zásuvkových a světelných okruhů, proudové chrániče a hlavní vypínač.

Domovní silnoproudé okruhy, které vedou do všech místností, jsou rozděleny na tři hlavní skupiny, na světelné, zásuvkové a obvod pro technologie s tepelným čerpadlem, vzduchotechnikou a přidruženým vybavením.

Pro návrh je nejprve nutné určit minimální průřez vodiče podle následujícího vzorce.

$$S = \frac{P_S \cdot \rho \cdot l}{U_F \cdot \Delta u \cdot \cos \varphi} \cdot 10^6 = \frac{29200 \cdot 0,0178 \cdot 10^{-6} \cdot 10}{230 \cdot 2,3 \cdot 0,9} \cdot 10^6 = 10,9 \text{ mm}^2$$

$P_S$  – předpokládaný současný výkon [kW]

$\rho$  – měrný odpor materiálu vodiče [ $\Omega\text{m}$ ]; pro měď  $\rho = 0,0178 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$

$l$  – délka vodiče k přípojce [m]

$U_F$  – fázové napětí [V];  $U_F = 230 \text{ V}$

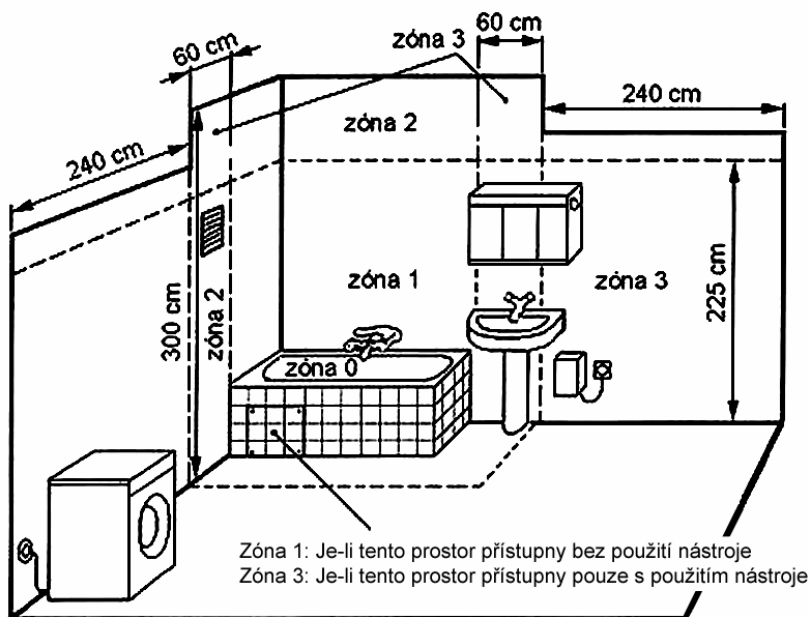
$\Delta u$  – úbytek napětí na přípojce [V];  $\Delta u = 2,3 \text{ V}$

$\cos \varphi$  – účinník sítě [-];  $\cos \varphi = 0,9$

Výpočet je proveden pouze pro přívodní vedení z hlavní domovní skříňě k domovní rozvodnici. Je zde předpoklad, že právě toto vedení bude zatíženo nejvyšším výkonem. Předpokládaný současný výkon je dán součinem poměrného koeficientu  $\beta = 0,75$  a celkovým předpokládaným příkonem spotřebičů. Úbytek napětí v síti činí 1 % z efektivní hodnoty napětí 230 V, tedy 2,3 V. Vypočtenému průřezu odpovídá vodič s průřezem 16 mm<sup>2</sup>.

Zásuvkové rozvody, především pro okruh do místností se sociálním zařízením, jsou v domovní rozvodnici opatřeny proudovým chráničem, který má za úkol zvýšit bezpečnost pro elektrickému zkratu.

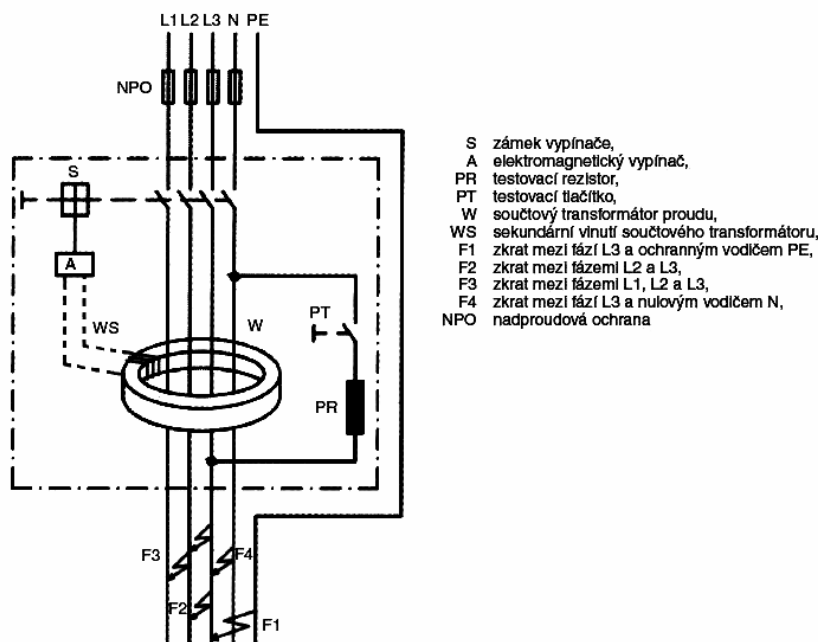
Rozvody v koupelnách jsou navrženy podle normy ČSN 33 2000-7-701 [23]. Tato norma rozděluje oblast koupeny na tři zóny.



Obr. 18. Rozdělení ochranných zón v koupelnách

- Zóna 0 – Vnitřní prostor sprchového koutu nebo vany. V zóně se nesmí nacházet žádné spínače ani spínací zařízení. V zóně je povolena pouze ochrana malým napětím.
- Zóna 1 – Tuto zónu tvoří oblast mezi podlahou a nejvýše připevněnou sprchovou tryskou nebo do maximální výšky 2,25 metru. Spotřebiče, které jsou umístěné v této zóně musí být speciálně konstruovány, aby nedošlo ke kontaktu s vodivými částmi. Tyto spotřebiče musí být napojeny přes proudový chránič 30 mA. Spínací obvody jsou napájeny střídavým napětím 12 voltů.
- Zóna 2 – Zóna je ve svislém směru ohraničena podlahou a sprchovou tryskou nebo minimálně 2,25 metru nad podlahou. Ve vodorovném směru je umístěna 0,6 metru od okraje zóny 2. V této zóně se již mohou nacházet všechny spotřebiče zóny 2, světelné spotřebiče a ventilátory. V zóně 3 se mohou nacházet zásuvky s malým napětím za předpokladu, že jsou napojeny a jištěny proudovým chráničem 30 mA.

Z popisu jednotlivých zón vyplývá, že všechny zóny musí být chráněny proudovým chráničem s vypínacím proudem 30 mA. Proudový chránič je zařízení, které zajišťuje rychlé odpojení spotřebiče, dojde-li ke styku s nebezpečným napětím. Ačkoliv jsou všechna zařízení napojena na proudový chránič, musí být tato zařízení izolována tak, aby odolala střídavému napětí po dobu jedné minuty a musí splňovat požadavky krytí se stupněm ochrany IP2X a IPXXB. [23]

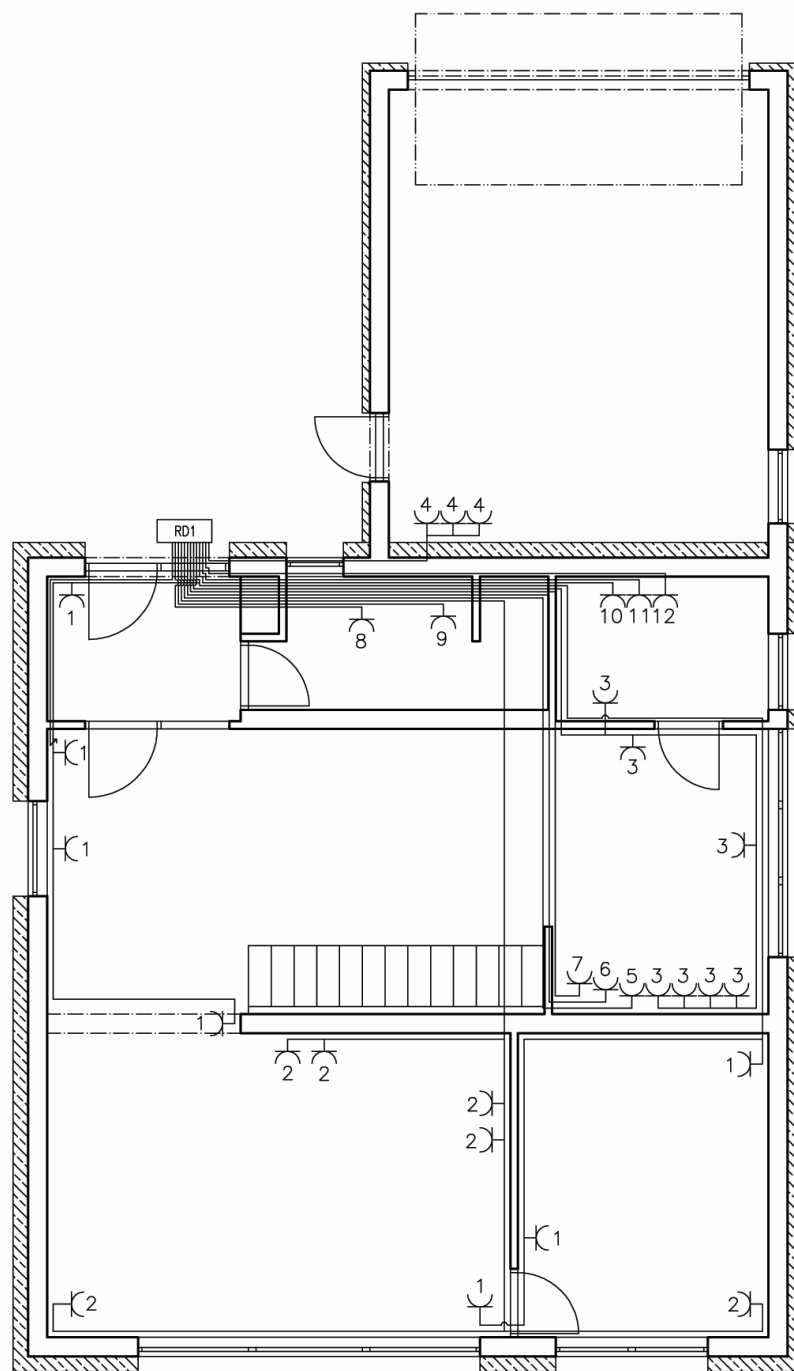


Obr. 19. Schéma proudového chrániče

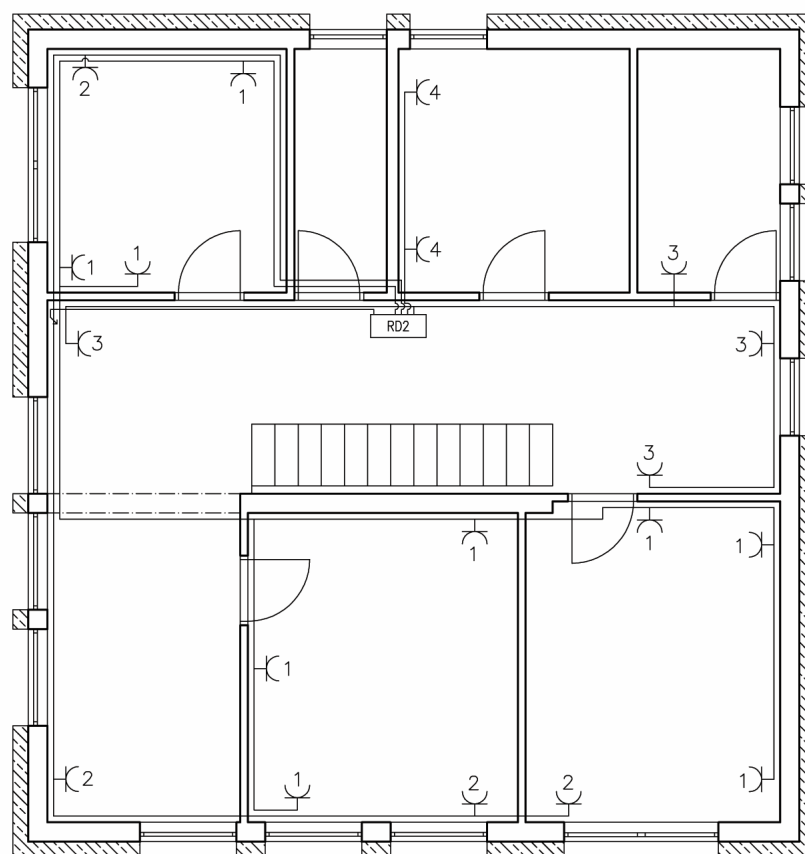
Rozmístění zásuvek v obou patrech popisuje obrázek (Obr. 20) a (Obr. 21). Na jednom zásuvkovém okruhu je možné napojit až deset zásuvek. Zásuvky jsou napojeny na jističích 16 A a 10 A. Jistič je určen nevyšším současným příkonem. Pro jistič 16 A je současný příkon roven 3680 VA, pro jistič 10 A je hodnota rovna 2300 VA.

Zásuvkové obvody jsou vedeny ve zdech pod omítkou 30 centimetrů nad podlahou. V místnostech jako je koupelna nebo kuchyně, jsou zásuvky umístěny ve vyšších místech s ohledem na jejich dostupnost ke spotřebičům.

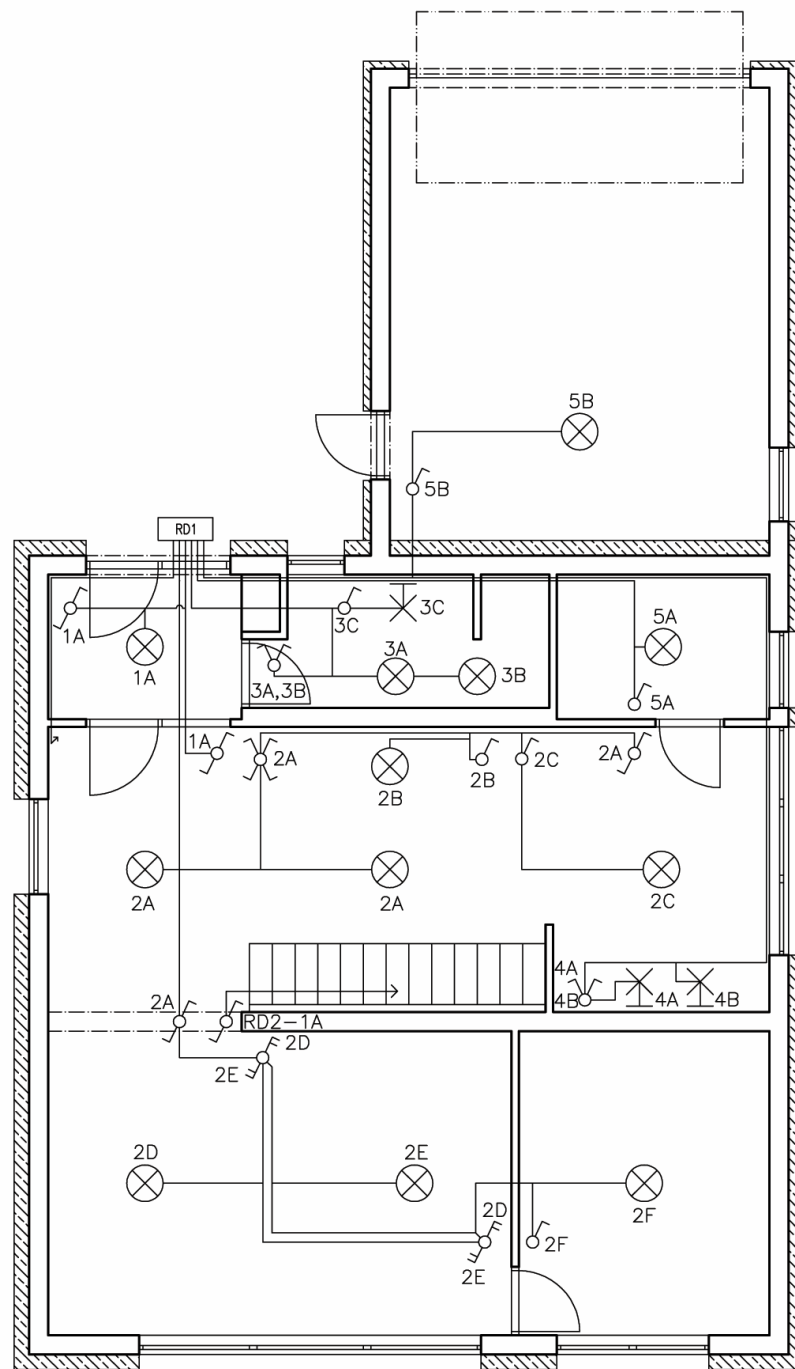
Světelné obvody jsou vedeny pod stěnovou a stropní omítkou. Jejich rozmístění je na obrázcích (Obr. 22) a (Obr. 23). Světla jsou rozmístěna tak, aby vyhovovala nejlepším světelným podmínkám s ohledem na druh místnosti. Ovládání jednotlivých světel je řešeno dotykovým spínači umístěných 1,2 metru nad podlahou. Jednotlivé světelné okruhy jsou napojeny na 10 A jistič v domovní rozvodnici.



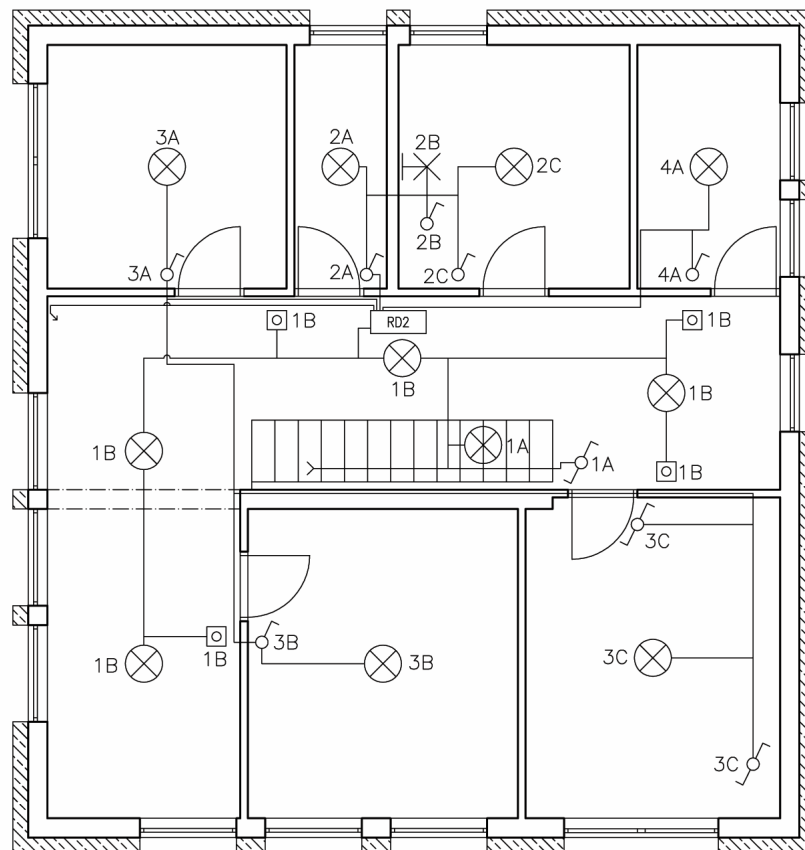
Obr. 20. Návrh zásuvkových okruhů – 1. NP



Obr. 21. Návrh zásuvkových okruhů – 2. NP



Obr. 22. Návrh světelných okruhů – 1. NP



Obr. 23. Návrh světelných okruhů – 2. NP

### 13.1 Návrh fotovoltaických panelů

Při návrhu elektrických rozvodů se také pamatuje na případnou instalaci fotovoltaických panelů sloužících k doplňkové výrobě elektřiny. Postup návrhu je popsán v kapitole 7.7.1. Prvním krokem je určení využitelné plochy pro pokrytí fotovoltaickými panely. Obsah střešní plochy na jižní straně činí přibližně  $65 \text{ m}^2$ . Je se však nutné počítat s tím, že část střechy již pokrývají solární kolektory k ohřevu vody. Pro instalaci fotovoltaických panelů bylo vymezeno  $35 \text{ m}^2$ .

Je-li nyní známa využitelná plocha fotovoltaického panelu a bude-li se uvažovat účinnost 14 %, je možné vypočítat podle rovnice (62) celkový výkon instalovaných fotovoltaických panelů.

$$P_{FV} = A \cdot \eta = 35 \cdot 0,14 = 4,9 \text{ kW}$$

Za předpokladu, že sluneční radiace je  $1000 \text{ kWh/m}^2$ , energetický zisk 1,1 a hodnota Performance Ratio je uvažována podle tabulky (Tab. 22), bude elektroenergetická výtěžnost fotovoltaického systému dle rovnice (63) rovna hodnotě:

$$E_{EL} = H_{SOLAR} \cdot f_{SKLON} \cdot P_{FV} \cdot PR = 1000 \cdot 1,1 \cdot 4,9 \cdot 0,7 = 3773 \text{ kWh / rok}$$

Tato hodnota přibližně odpovídá spotřebě klasického rodinného domu. Specifická výtěžnost pro tento systém solárních panelů vztažená na 1 kWh je rovna  $770 \text{ kWh} \cdot (\text{kW})$ . V České republice se v současné době nejvíce využívají solární elektrárny pro domácí použití o výkonu kolem 5 kW.

Tab. 40. Parametry fotovoltaického panelu

| Parametr             | Hodnota |
|----------------------|---------|
| Špičkový výkon [Wp]  | 235     |
| Maximální napětí [V] | 30,1    |
| Napětí naprázdno [V] | 37,1    |
| Maximální proud [A]  | 7,81    |
| Zkratový proud [A]   | 8,31    |
| Účinnost [%]         | 14,4    |

## 14 NÁVRH INTELIGENTNÍCH ROZVODŮ KNX

Nedílnou součástí inteligentního domu je inteligentní elektroinstalace, která slouží k ovládání a kontrole domovních integrovaných systémů. Zvolený sběrniceový systém pro tento rodinný dům je systém KNX. Díky tomuto standardu jsou všechny důležité prvky vůči sobě kompatibilní a je tedy možné vytvořit spolupracující a ucelený inteligentní systém.

Navrhnutý systém je možné rozšířit o další prvky KNX podle aktuálních požadavků uživatele. Velkou výhodou inteligentní elektroinstalace v systému KNX, oproti klasické elektroinstalaci, je možné rozšíření bez nutnosti stavebních úprav nebo zásahu do struktury systému.

Tato navržená elektroinstalace řeší jak silnoproudé, tak i slaboproudé rozvody včetně napojení na další systémy ve všech místnostech rodinného domu. Inteligentní elektroinstalace tvoří komplexní celek řízení napojený na vytápěcí systém se soustavou ohřevu teplé vody, systém ovládání osvětlení a žaluzií a dále pak napojení na elektronickou požární signalizaci a elektronickou zabezpečovací signalizaci.

Sběrniceová komunikace mezi jednotlivými zařízeními probíhá po stíněné kroucené dvojlince rychlostí 9600 bit/s, přičemž velikost připojeného napětí v celém systému je 24 V stejnosměrných. Na vytvořený sběrniceový systém jsou napojeny všechny místnosti rodinného domu tak, aby bylo zajištěno bezproblémové napojení inteligentních prvků. Výkonové prvky systému KNX, jako jsou napájecí zdroj a actuary, jsou umístěny v hlavním rozvaděči. Další součásti jsou umístěny přímo v daných místnostech. K řízení a monitoringu koncových prvků jsou kromě tlačítkových snímačů použity také detektory pohybu, dotykový interaktivní panel, nebo snímače jasu a teploty. Nedílnou součástí je komunikační rozhraní USB pro případné aplikační úpravy a připojení počítače a sériové rozhraní RS232 pro napojení vytápěcího systému a systému ohřevu teplé vody. Sběrnice KNX je propojena s ústřednou elektronické zabezpečovací signalizace a s ústřednou elektronické požární signalizace. Systémy jsou propojeny tak, aby nedošlo k jejich narušení. Inteligentní systém využívá snímače EZS jako spínače, které v případě pozitivního vyhodnocení dávají podnět k vyvolání poplachu. Ten může být doprovázen rozsvícením všech napojených svítidel, úplným vytažením žaluzií a zvukovou signalizací. V případě vyvolání poplachu ústřednou EPS může dojít k automatickému navýšení výkonu

vzduchotechnického systému k odvodu znehodnoceného vzduchu a dále k odpojení některých zásuvkových a světelných okruhů od elektrické sítě. Systém inteligentní elektroinstalace komunikuje s exteriérovými snímači, které mohou sloužit k automatickému ovládání žaluzií a osvětlení místností. Rozmístění jednotlivých prvků KNX je zobrazeno na obrázcích (Obr. 29) a (Obr. 30)

Součástí ovládání vnitřních prvků jsou tzv. tématické scény, kterými je možné navodit danou atmosféru události. Nastavení a náročnost jednotlivých scénických režimů plně závisí na individualitě uživatele.

### 14.1 Návrh ovládání vytápěcího systému

Rodinný dům disponuje tepelným čerpadlem s regulátorem, který je schopný vyhodnocovat teplotní parametry z připojených čidel. Regulátor podle získaných hodnot upravuje optimální výkon tepelného čerpadla. Kromě automatického provozu podle vnějších parametrů je možné tepelné čerpadlo ovládat pomocí přednastavených programů. Samozřejmostí tohoto regulátoru je také spínání oběhového čerpadla v krátkých časových úsecích v době odstavení tepelného čerpadla, aby nedocházelo k jeho zamrznutí.

Komunikace s datovými prvky probíhá přes datové sériové rozhraní RS232. Regulátor je tak možné napojit k osobnímu počítači a provádět případnou diagnostiku nebo analýzu dat.

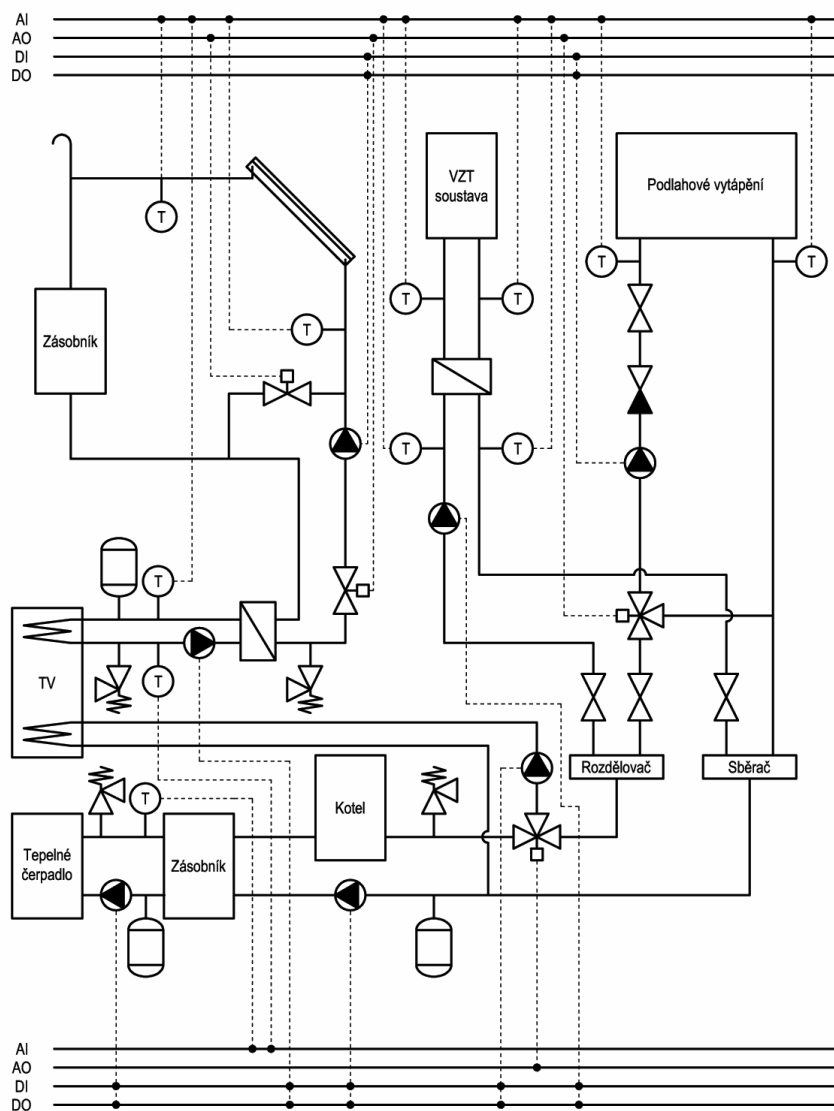
V případě výpadku je možné regulátor s tepelným čerpadlem ovládat vestaveným ovládáním nebo pomocí originálního dálkového ovládání.

Po nainstalování budou v regulátoru tepelného čerpadla nastaveny předdefinované provozní programy, které budou upravovány podle získaných údajů z čidel okolní teploty.

Součástí systému je soustava teplovzdušného vytápění, která přivádí teplý vzduch do většiny vytápěných místností. Hlavní řízení vzduchotechnické jednotky také obstarává vlastní vestavěný regulátor napojený na centrální jednotku, ve které bude možné regulovat množství objemového průtoku vzduchu nebo samotné vypínání a zapínání vzduchotechnické jednotky. Regulátorem je možné ovládat rychlost otáček ventilátoru v několika stupních od minimálního provozu k udržování vzduchu v nepřítomnosti osob až po intenzivní výměnu vzduchu.

Množství vzduchu, který bude přiváděn ale i odváděn z jednotlivých místností, je řízeno nejen vzduchotechnikou jednotkou, ale také nastavením škrťích klapek vzduchotechnického potrubí. Pro dosažení požadovaného objemového průtoku jsou škrťící klapky řízeny servomotory v jednotlivých místnostech, které jsou napojeny na akční členy komunikující se sběrníci KNX. Na obdobném principu pracuje i ovládání regulačních ventilů podlahového vytápění v místnostech se sociálním zařízením.

Oba dva typy regulátorů, jak pro tepelné čerpadlo, tak vzduchotechnikou jednotku, a servomotory škrťících klapek komunikují se sběrníci KNX přes rozhraní KNX/RS232. Tímto připojením je možná dálková správa celé vytápěcí soustavy z centrální jednotky.



Obr. 24. Schéma otopné soustavy s datovými vstupy a výstupy

## 14.2 Návrh ovládání solárního okruhu k ohřevu teplé vody

Řízení solárního okruhu je provedeno plně automaticky bez potřeby zásahu uživatele domovního systému. Regulátor solárního systému sám řídí výkon oběhových čerpadel pomocí čidel umístěných u tepelného výměníku a slunečního kolektoru. Připojením solárního systému ke sběrnici KNX je možné vypínání a zapínání solárního okruhu a také sledování aktuálních hodnot a jejich vyhodnocování. Napojení na KNX je opět realizováno přes sériové rozhraní KNX/RS232.

## 14.3 Návrh ovládání osvětlení

Jelikož je v domě instalovaný sběrniceový systém KNX, nebude se jednat o standardní silnoproudé ovládání elektroinstalace, jak je běžné v tradičních rodinných domech. Umístění instalovaného osvětlení a spínačů resp. tlačítkových snímačů je navrženo podle obrázku Obr. 22 a Obr. 23. Na schématických obrázcích jsou naznačeny jednotlivé skupiny světelných těles a k nim přiřazené tlačítkové snímače. V případě změny je možné ovládací prvky přeprogramovat a přiřadit jim jiné osvětlovací těleso. Je tedy plně na volbě obyvatel domu, který snímač bude ovládat dané osvětlení. Některá osvětlení, např. u schodiště, je možné ovládat pomocí detektorů pohybu, které budou snímat s ohledem na úroveň denního přirozeného osvětlení. Při dostatečném osvětlení tedy nedojde k rozsvícení.

V místnostech se sociálním zařízením je vhodné osvětlení propojit se systémem odvětrávání odpadního vzduchu. Vzduchotechnický systém je možné spouštět na základě rozsvícení nebo vyhodnocení čidel kvality ovzduší.

Základní způsob ovládání osvětlení je pomocí krátkých a dlouhých stisků tlačítek. Krátký stisk zapne nebo vypne osvětlení, dlouhý stisk ovlivní intenzitu osvětlení v závislosti na době podržení snímače. Rozšířené možnosti ovládání osvětlení v podobě scén je možné pomocí snímačů s více tlačítky, dotykovým interaktivním panelem, domácím počítačem nebo prostřednictvím mobilního telefonu. Pomocí těchto funkcí je možné snadno nastavit osvětlení místností dle aktuálních potřeb uživatele.

## 14.4 Návrh ovládání žaluzií

Ovládání žaluzií je založeno na stejném principu jako ovládání osvětlení místností. Jejich řízení je řešeno také především pomocí tlačítkových snímačů, popřípadě dotykovým panelem nebo dálkovým ovládáním. Scénické programy jsou zde také aplikovány. V kombinaci s osvětlovacími scénami je tak možné zdokonalit požadavky nejen světelné, ale i tepelné. Kromě těchto předdefinovaných scénickým režimů je možné žaluzie ovládat automaticky pomocí venkovních čidel intenzity osvětlení, díky kterým bude docházet k zatažení nebo odtažení žaluzií a k natáčení jejich lamel. Především v letních měsících tak nebude docházet ke zbytečnému přehřívání místností a bude možné snížit výkon klimatizace.

## 14.5 Návrh ovládacího systému SCADA

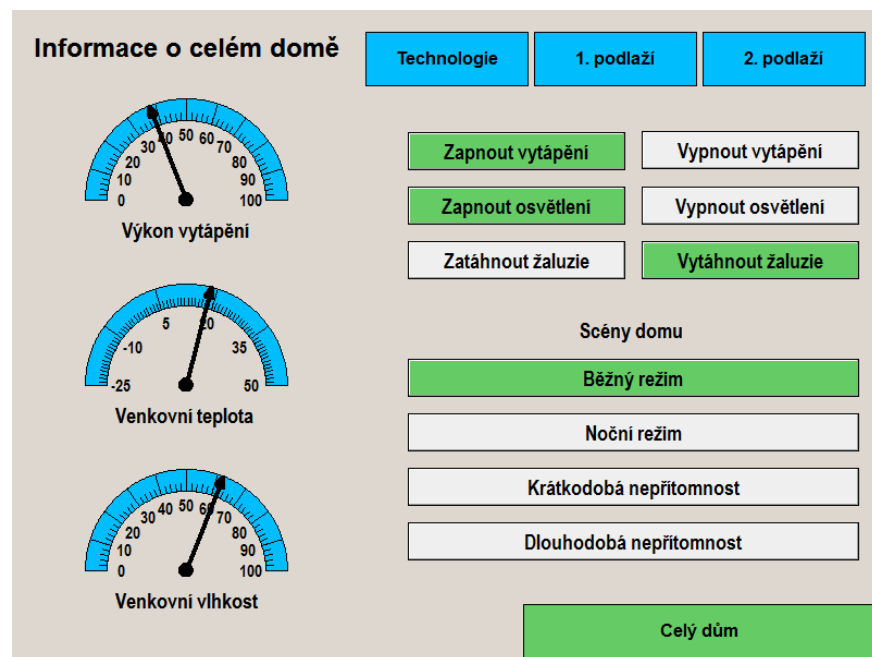
Veškeré integrované systémy od vytápění přes osvětlení až po zabezpečení rodinného domu je ovládáno z centrální jednotky, která je tvořena dotykovým panelem napojeným na sběrníkový systém KNX. Dotykový panel se dá přirovnat k tabletu s dotykovou obrazovkou. Vizualizace systému zjednodušuje přehlednost nad sledováním a ovládáním celého inteligentního systému. Umožňuje pohodlné ovládání celého domu z jednoho místa. Implementovaný SCADA systém je možné obsluhovat také pomocí osobního počítače nebo pomocí chytrého mobilního telefonu.

Základní obrazovka (Obr. 25) umožňuje v horní části přepínání mezi jednotlivými podlažími nebo technickou místností pro detailnější přehled. Panel také zobrazuje rychlý přehled o stavu vytápěcí soustavy a nastavení provozních scén celého domu.

- Běžný režim – Dům je nastaven pro běžné využívání během dne, kdy se v objektu vyskytují jeho obyvatelé. Osvětlení a žaluzie nemají pevně nastavený provozní režim a je možné ho měnit podle aktuálních požadavků nebo pomocí automatického ovládání přes snímače pohybu a klimatických podmínek. Vytápěcí soustava je nastavena na optimální úroveň, elektronická zabezpečovací signalizace je deaktivována.
- Noční režim – Noční režim je možné aktivovat automaticky nebo manuálně. V době nočního klidu jsou zataženy všechny žaluzie. Vytápěcí soustava udržuje

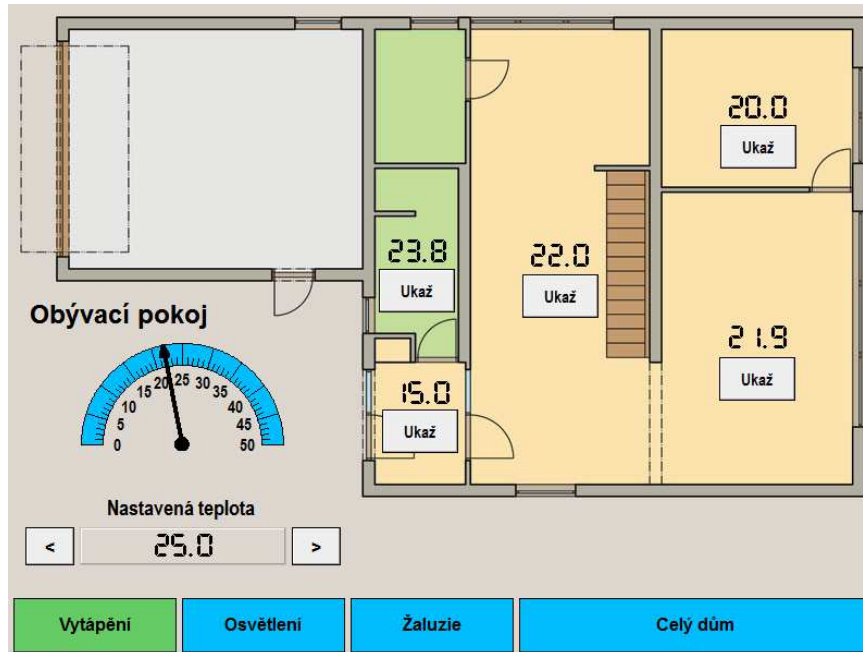
minimální intenzitu výměny vzduchu a teplotu 20 °C. Systém aktivuje plášťovou ochranu domu.

- Krátkodobá nepřítomnost – Tento režim je aktivní v době, kdy jsou obyvatelé mimo dům, např. v práci či škole.. Systém ztlumí výkon vytápěcí soustavy na minimální udržitelnou teplotu s vnitřní cirkulací vzduchu nebo je systém vytápění zcela vypnut. Světlené okruhy a vybrané zásuvkové okruhy jsou vypnuty a systém elektronické zabezpečovací signalizace je plně aktivován.
- Dlouhodobá nepřítomnost – Režim dlouhodobé nepřítomnosti je aktivovaný manuálně, např. v době dovolené. Ovládací systém vypne světelné okruhy a některé zásuvkové okruhy. Žaluzie jsou zataženy v celém domě. V domě je snížena výkon vytápění s minimální intenzitou cirkulace vnitřního vzduchu. Během delší nepřítomnosti je aktivován režim náhodného zapínání a vypínání světel společně s náhodným ovládním žaluzií. Elektronická zabezpečovací signalizace aktivuje plášťovou i prostorovou ochranu objektu.



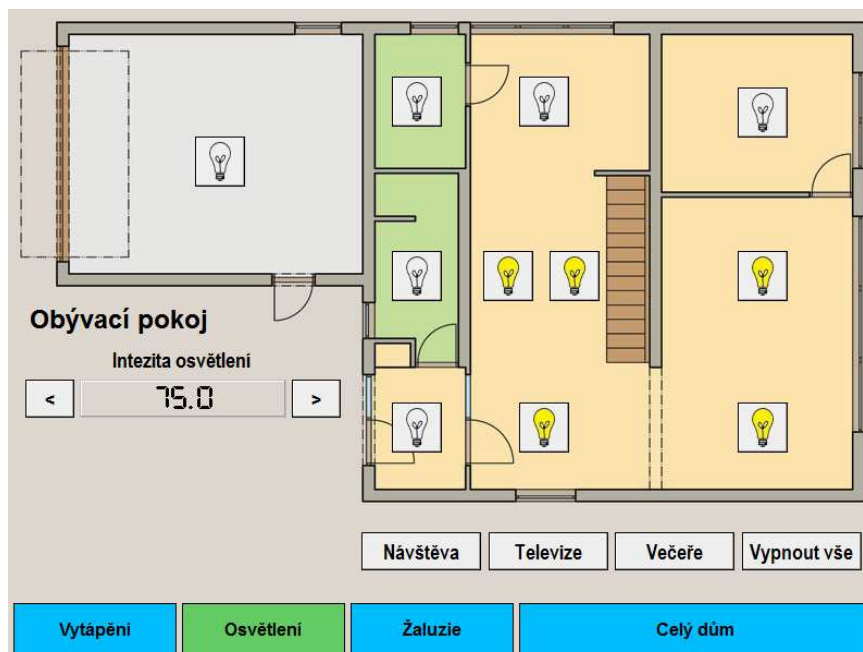
Obr. 25. SCADA: Základní přehled v systému KNX

Po přepnutí na některé z podlaží je možné zobrazit a řídit stavy vytápění, osvětlení a žaluzií. Obrazovka s režimem vytápění umožňuje nastavit teploty pro jednotlivé místnosti, jak je uvedeno na obrázku (Obr. 26).



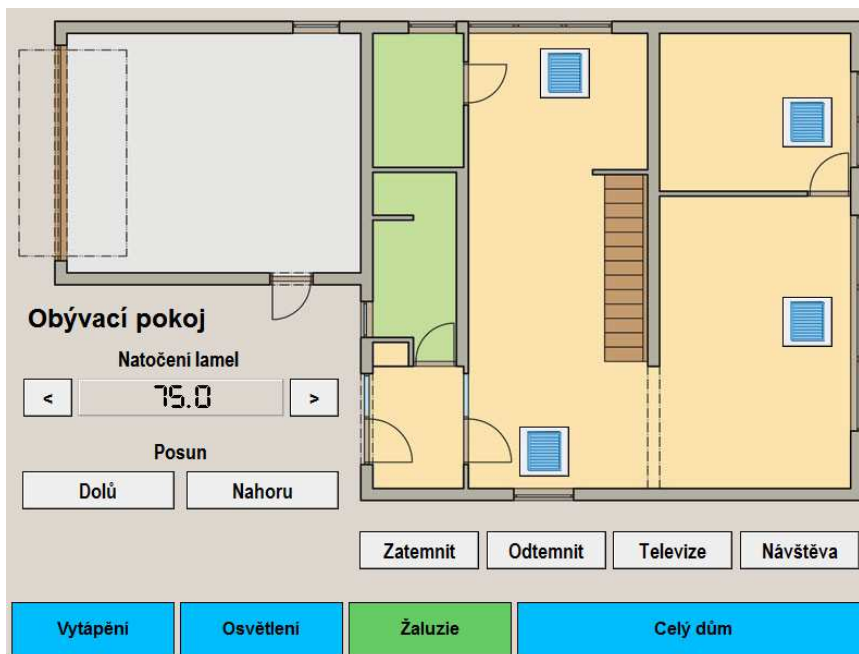
Obr. 26. SCADA: Nastavení vytápění v jednotlivých místnostech

V režimu osvětlení (Obr. 27) je možné zapínat a vypínat osvětlení v jednotlivých místnostech s případnou změnou intenzity osvětlení.



Obr. 27. SCADA: Nastavení osvětlení v jednotlivých místnostech

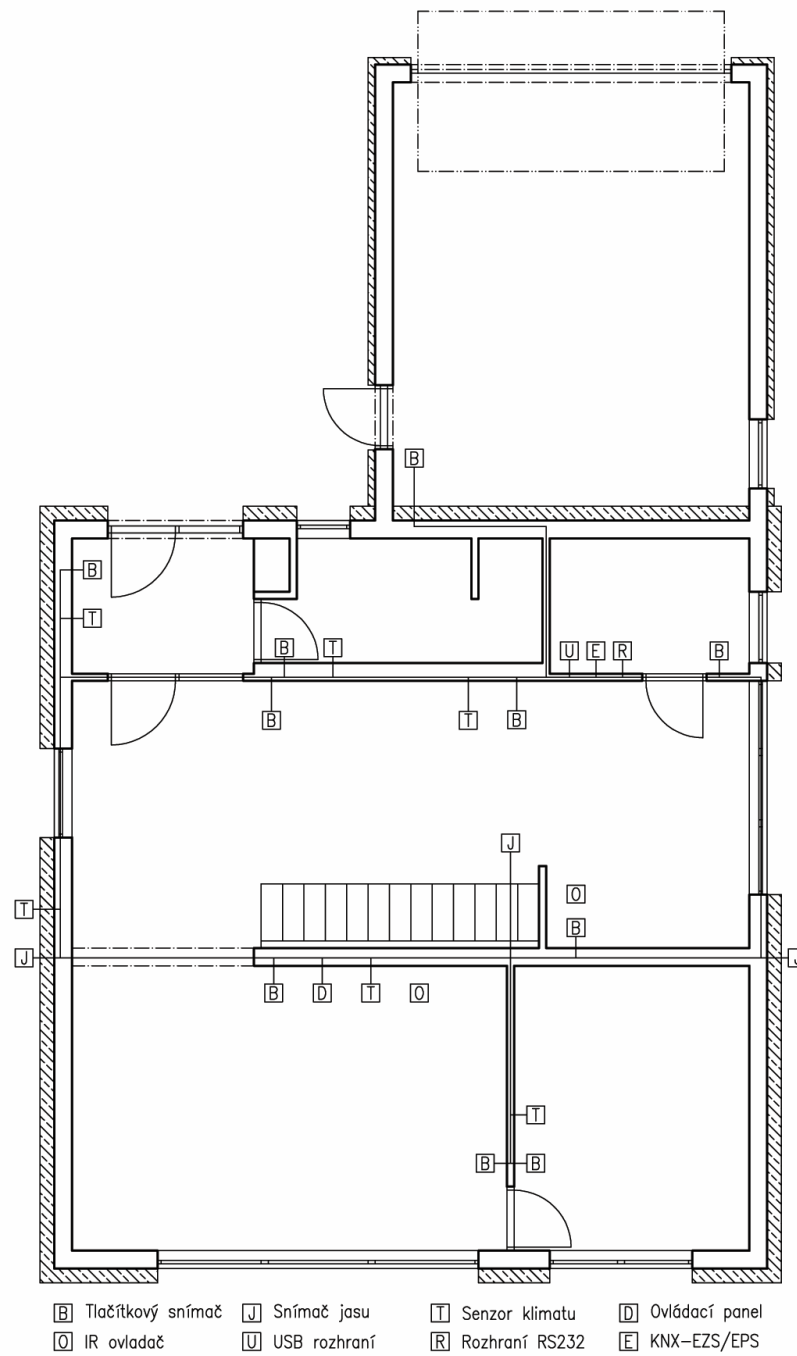
Posledním režimem je manuální nastavení žaluzií v jednotlivých místnostech (Obr. 28), kdy klepnutím na ikonu u příslušného okna je možné měnit výšku vysunutí žaluzií a natočení jejich lamel.



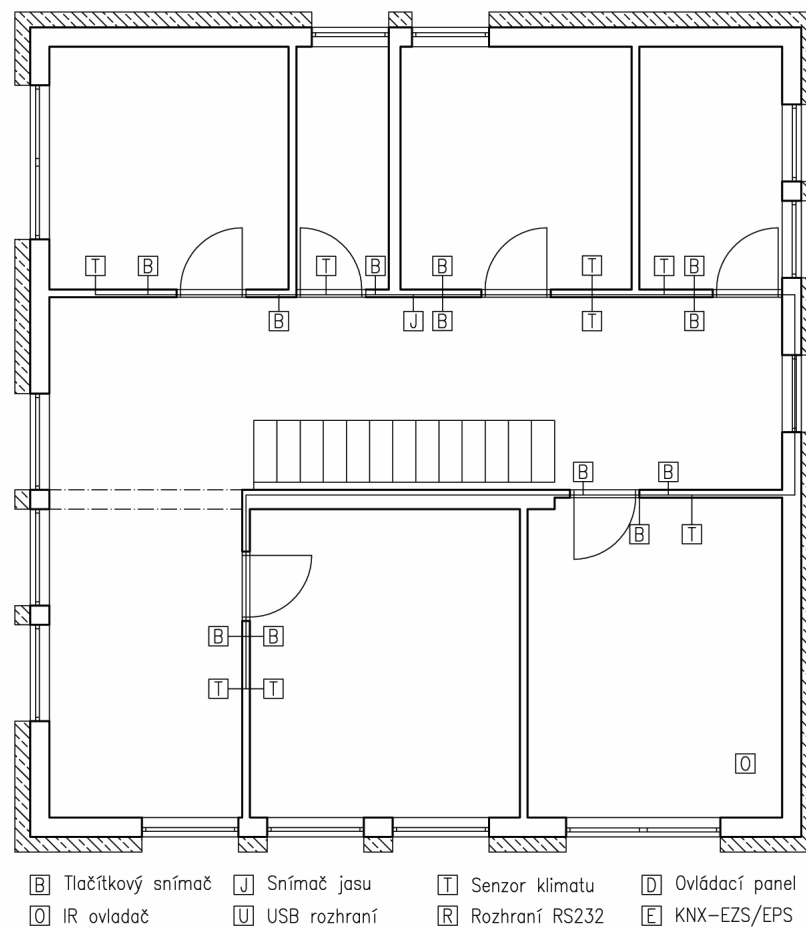
Obr. 28. SCADA: Nastavení žaluzií v jednotlivých místnostech

Režim ovládání osvětlení a žaluzií disponuje funkcí přednastavených scénických režimů. Pro osvětlení i žaluzie je zapínání a vypínání těchto režimů zcela na sobě nezávislé, tzn. že je možné je kombinovat. Zvolený scénický režim navíc řídí i ovládání vzduchotechnického systému.

- **Návštěva** – Během denní doby je osvětlení vypnuto a žaluzie jsou zataženy s otočenými lamelami nebo se případně řídí podle externích čidel. Ve večerních hodinách je intenzita osvětlení maximální a žaluzie plně zatažené. Výměna intenzity vzduchu je na maximální úrovni, aby nedošlo k narušení tepelné pohody.
- **Televize** – Systém ztlumí intenzitu osvětlení na minimální hodnotu, která neruší sledování televize během filmu a vytvoří tak požadovanou atmosféru. Žaluzie jsou zatažené, vzduchotechnický systém pracuje v klasickém provozu.
- **Večeře** – Jedná se o kombinaci dvou předchozích režimů. Intenzita osvětlení je mírně ztlumena, žaluzie jsou zatažené s otočenými lamelami a je zvýšen výkon vzduchotechnické jednotky pro výměnu vzduchu.



Obr. 29. Návrh rozmístění prvků KNX – 1. NP



Obr. 30. Návrh rozmístění prvků KNX – 2. NP

## 15 NÁVRH BEZPEČNOSTNÍCH SYSTÉMŮ EZS A EPS

Součástí systémového vybavení navrhovaného rodinného domu je také elektronická zabezpečovací signalizace a elektronické požární signalizace, které mají za úkol chránit objekt před vniknutím neoprávněných osob a především má chránit bezpečí osob při případném vzniku požáru. Oba tyto systémy tak zvyšují uživatelský komfort bydlení.

Elektronický zabezpečovací a požární systém je napojen na sběrníkový systém KNX. Díky tomuto způsobu propojení jednotlivých senzorů je celý systém použitelný v aplikacích se zvýšenými požadavky na bezpečnost. Dům je tak doplněn o inteligentní prvky celkové elektroinstalace, které jsou schopny efektivně reagovat na proměnlivé podmínky okolí a v případě krizové situace je vyhodnotit.

Jednotlivé zabezpečovací a požární detektory jsou rozděleny na lokální domovní zóny. Komunikace mezi těmito detektory a hlavní ústřednou probíhá bezdrátově. Ústředna následně komunikuje s terminálem KNX. Při vyhodnocení kladného požadavku je systém schopen varovat před vzniklou skutečností světelnou nebo akustickou signalizací. Systémy jsou také schopny prostřednictvím GSM brány upozornit majitele o vyhlášeném poplachu s informacemi o narušené zóně.

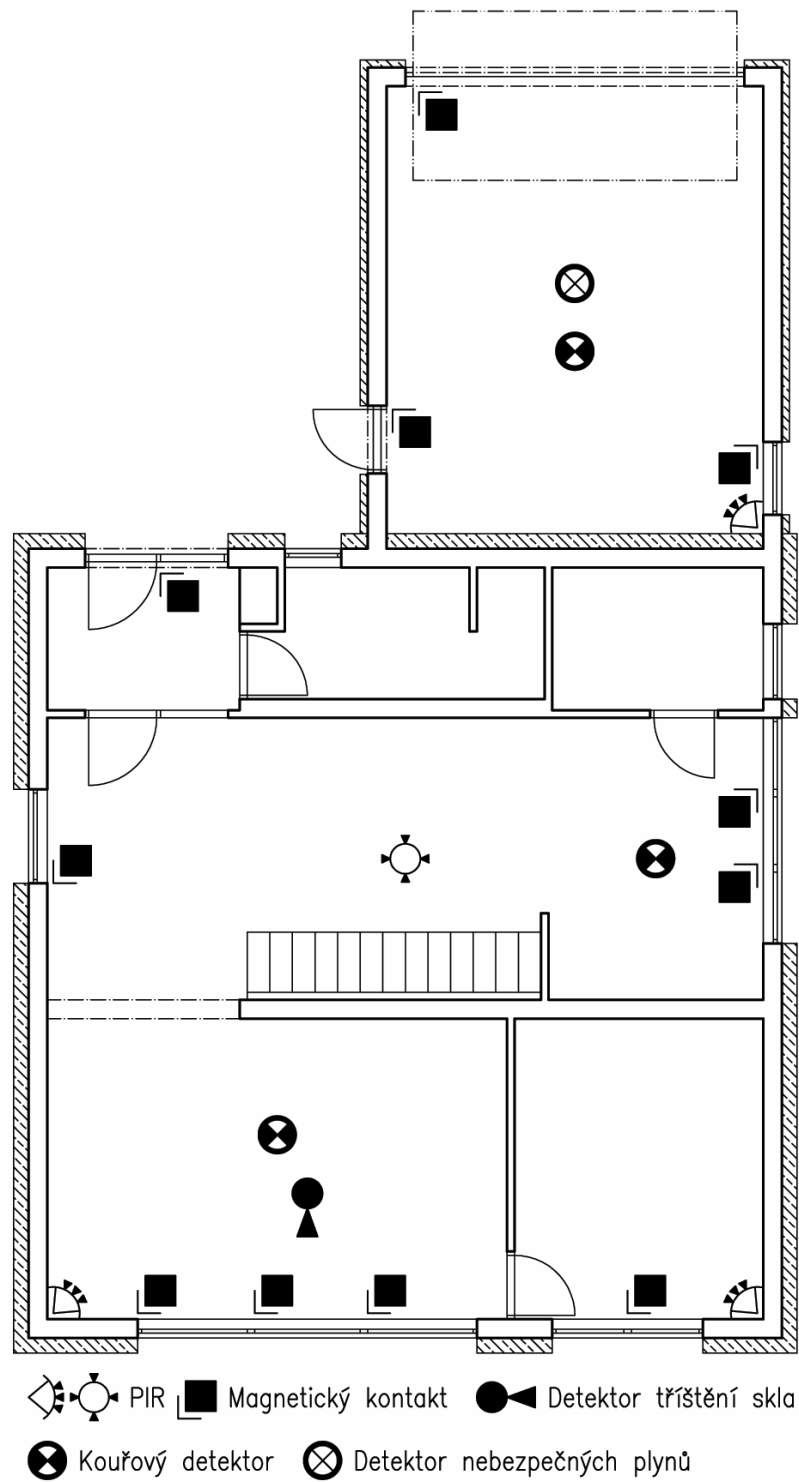
### 15.1 Návrh elektronické zabezpečovací signalizace

Prioritním úkolem systému EZS je včasná signalizace a detekce pohybu cizích osob v domě. V první řadě je nutné se soustředit na typická místa průniku osob, což jsou především okna a dveře. Navrhovaný systém je kombinací plášťové a prostorové ochrany. Plášťovou ochranu tvoří především magnetické kontakty na rámech oken a dveřních zárubních. Magnetické kontakty jsou umístěny na všech oknech v rodinném domě s výjimkou malých okenních ploch v místnostech se sociálním zařízením, technické místnosti nebo šatny. V případě narušení a vniknutí cizí osoby do objektu je systém EZS v obou patrech rozšířen o prostorovou ochranu využívající detektory pohybu PIR. U velkých prosklených ploch, např. v obývacím pokoji, je plášťová ochrana navíc doplněna o akustické detektory rozbití skla. Rozmístění jednotlivých zabezpečovacích detektorů EZS je zakresleno na obrázcích (Obr. 31) a (Obr. 32).

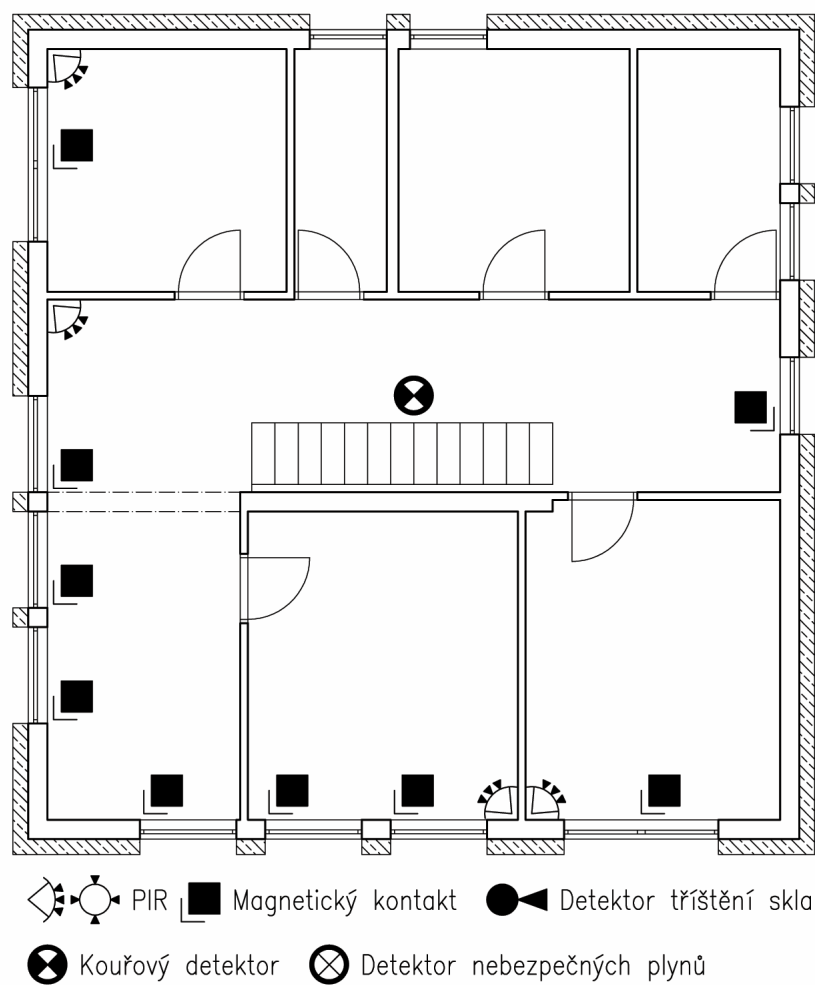
## 15.2 Návrh elektronické požární signalizace

Ochranu majetku a osob při případném vzniklém požáru zabezpečuje systém požární signalizace, který je vybaven detektory kouře a nebezpečných plynů v prvním i ve druhém patře. Stropní detektory kouře jsou instalovány především v kuchyni a obývacím pokoji, kde se bude vyskytovat nejvíce osob při běžných nebo společenských akcích. V případě, že detektor zaznamená vznik kouře nebo požáru, je aktivován světelný i vizuální alarm. Další detektor kouřových zplodin je instalován v garáži společně s detektorem nebezpečných plynů, jelikož je zde možnost umístění nebezpečně těkavých látek, jako jsou různá ředidla nebo kapaliny k obsluze automobilu.

Jelikož je dům vybaven vzduchotechnickým systémem, je zde také možnost zvýšit automaticky úroveň výkonu ventilačních jednotek k rychlejšímu odsávání nebezpečných látek z ovzduší a provětrání místností. Rozmístění požárních detektorů EPS je vyobrazeno na obrázcích (Obr. 31) a (Obr. 32).



Obr. 31. Návrh rozmístění prvků EZS a EPS – 1. NP



Obr. 32. Návrh rozmístění prvků EZS a EPS – 2. NP

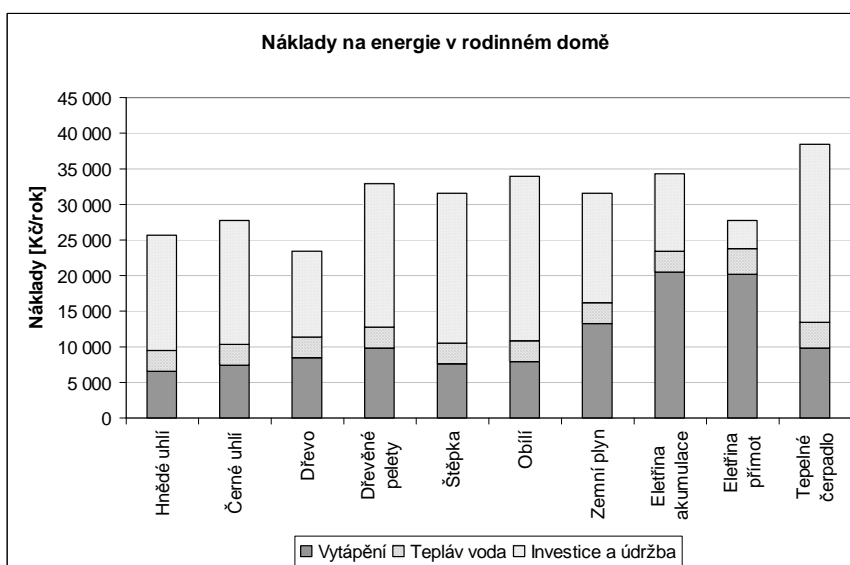
## 16 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ PROJEKTU

Integrované systémy inteligentního rodinného domu se vyznačují vysokými vstupními investicemi, které mohou být brány jako jedna z nevýhod moderních budov. Použité obnovitelné zdroje však mohou tyto vstupní náklady vrátit pomocí jejich nízkých provozních nákladů.

### 16.1 Náklady na vytápění a ohřev teplé vody

Do nákladů jsou zahrnuty náklady na vytápění a na ohřev teplé vody, které jsou odvozeny od celkové potřeby energie dané součtem těchto dvou položek. Celková potřeba energie tedy je 9 840 kWh/rok [39]. Hlavním zdrojem pro ohřev teplé vody je solární systém, který ovšem nemůže zajistit stálý požadovaný výkon v případě nepříznivého slunečního záření. Teplá voda bude proto dohřívána otopnou soustavou vybavenou tepelným čerpadlem.

Přepočet nákladů jednotlivých paliv udává srovnávací graf (Graf 8), který je navíc doplněn o počáteční investici a provozní údržbu. Nejnižší náklady na vytápění jsou při použití tuhých paliv, jako je hnědé uhlí, černé uhlí, dřevo, dřevěné pelety, štěpka nebo obilí. Nevýhodou tuhých paliv je zajištění prostor pro jejich skladování. Primární vytápění elektřinou není příliš vhodné z důvodu vysokých provozních nákladů. Ze zbylých možností tedy zůstává vytápění pomocí zemního plynu a tepelného čerpadla.



Graf 8. Náklady na energie v rodinném domě

Z důvodu poměrně nízkých provozních nákladů lze považovat tepelné čerpadlo za nejvýhodnější zdroj energie. Tento způsob vytápění je možné použít v letních měsících v režimu klimatizace a chlazení.

Při využití elektrokotle jako hlavního zdroje systému vytápění dojde k úspoře pořizovacích nákladů zhruba o 81 000 Kč, navýší se však provozní náklady během roku přibližně o 10 000 Kč oproti teplenému čerpadlu. Nelze však tyto druhy vytápění stavět vedle sebe a porovnávat, protože elektrokotel nelze využívat v režimu klimatizace.

Pořizovací náklady jednotlivých zařízení, které byly použity v otopné soustavě a v soustavě pro ohřev teplé vody jsou uvedeny v tabulce (Tab. 41).

Tab. 41. Ceny použitých technologií

| Technologie                 | Cena [Kč] |
|-----------------------------|-----------|
| Tepelné čerpadlo            | 106 070   |
| Vytápěcí kotel              | 25 000    |
| Příprava teplé vody         | 6 800     |
| Vzduchotechnická zařízení   | 180 400   |
| Solární systém              | 103 000   |
| Doplňkové vytápění          | 8 640     |
| Ostatní zařízení v soustavě | 78 333    |
| Celkem                      | 506 243   |

Předpokladem pro celkové ekonomické zhodnocení efektivnosti investice navrženého systému je doba životnosti tepelného čerpadla 25 let. Pomocí čisté současné hodnoty zjistíme, zda se investice do takového systému vyplatí. V případě kladného výsledku čisté současné hodnoty můžeme říct, je daná investice je přínosem, což potvrzuje výpočet.

Čistá současná hodnota (s diskontní úrokovou mírou, kde úroková míra je zvolena přibližně podle výnosnosti státních spořicí dluhopisů, které jsou udávány jako bezriziková úroková míra):

$$NPV_V = \sum_{t=1}^n \frac{UN}{(1+I)^t} - K = \sum_{t=1}^{25} \frac{9902}{(1+0,05)^t} - 106070 = 33488 \text{ Kč}$$

Čistá současná hodnota (s vyšší diskontní úrokovou mírou, kde úroková míra se volí tak, aby čistá současná hodnota vyšla v záporných hodnotách):

$$NPV_N = \sum_{t=1}^n \frac{UN}{(1+I)^t} - K = \sum_{t=1}^{25} \frac{9902}{(1+0,3)^t} - 106070 = -73110 \text{ Kč}$$

$NPV$  – čistá současná hodnota [Kč]

$UN$  – úspora nákladů [Kč]

$I$  – úroková míra [%]

$K$  – pořizovací náklady [Kč]

Z toho vyplývá, že vnitřní výnosové procento, které představuje výnosnost navrženého systému s tepelným čerpadlem je:

$$IRR = I_N + \frac{NPV_V}{NPV_N + |NPV_V|} \cdot (I_V - I_N) = 0,05 + \frac{33488}{33488 + |-73110|} \cdot (0,3 - 0,05) = 12,85\%$$

$IRR$  – vnitřní výnosové procento [%]

$NPV_V$  – čistá současná hodnota při nižší úrokové míře [Kč]

$NPV_N$  – nižší čistá současná hodnota při vyšší úrokové míře [Kč]

$I_N$  – nižší úroková míra [%]

$I_V$  – vyšší úroková míra [%]

Z kumulované úspory nákladů (Tab. 42) lze vyčíst, že návratnost investičních nákladů činí necelých 12 let.

Tab. 42. Kumulovaná úspora nákladů

| Čas<br>[roky] | Kumulovaná úspora nákladů<br>[Kč] |
|---------------|-----------------------------------|
| 1             | 9 430                             |
| 2             | 18 412                            |
| ...           | ...                               |
| 12            | 87 764                            |

## 16.2 Srovnání nákladů s tradičním řešením

Oproti tradičnímu řešení vytápěcí soustavy, která je napojená pouze na plynový kotel a je tvořena radiátorovými tělesy, podlahovým vytápěním a soustavou pro ohřev teplé vody, činí celkové pořizovací náklady navrženého systému 506 243 Kč s roční úsporou nákladů 36 000 Kč. Obdobným způsobem jako kapitole 16.1, lze dojít k následujícím výsledkům:

Tab. 43. Srovnání nákladů s tradičním řešením

| Ukazatel / Parametr                  | Hodnota  |
|--------------------------------------|----------|
| Pořizovací náklady [Kč]              | 506 243  |
| Roční úspora provozních nákladů [Kč] | 36 000   |
| Nižší diskontní úrok. míra [%]       | 0,05     |
| Vyšší diskontní úrok. míra [%]       | 0,08     |
| Čistá současná hodnota - vyšší [Kč]  | 1 139    |
| Čistá současná hodnota - nižší [Kč]  | -121 951 |
| Vnitřní výnosové procento [%]        | 5,03     |
| Doba návratnosti [roky]              | 10       |

## 16.3 Náklady na inteligentní elektroinstalaci

Inteligentní elektroinstalace zahrnuje komponenty sběrnice systému KNX a zabezpečovacích prvků EZS a EPS. Investiční náklady sběrnice systému KNX činí 327 718 Kč a investiční náklady systémů EZS a EPS jsou 47 809 Kč. Celkové náklady návrhu systémů KNX, EZS a EPS jsou 375 527 Kč.

V celkovém hodnocení nelze srovnávat náklady klasické elektroinstalace a náklady inteligentní elektroinstalace se systémovým řešením. Takové řešení zahrnuje náklady jak na klasickou elektroinstalaci, tak další technologie řízení v rodinném domě. Jedná se o ovládání a řízení vytápění a chlazení, ovládání osvětlení a žaluzií a další spolupráci se slaboproudými rozvody.

Při návrhu inteligentního systému platí pravidlo, že systémová instalace je především o vytvoření komfortu bydlení v rodinném domě. Investice a úspory jsou řešeny až na druhém místě. Obecně je však možné konstatovat, že pořizovací náklady se navrátí např. při prvním narušení rodinného domu cizí osobou.

## 16.4 Celkové hodnocení návrhu inteligentního domu

Navržený systém využívá zdroje obnovitelné energie sloužící k vytápění a ohřevu teplé vody, které jsou napojeny na rozvody moderní řídicí technologie. Společně tak tvoří příznivé podmínky komfortního bydlení. K celkové částce je však nutné přičíst náklady na práci samotného vybudování tohoto návrhu.

Je však nutné poznamenat, že se nejedná o technologii, která by byla v rodinných domech více rozšířena, někteří lidé jsou však ochotni zaplatit za komfort nadstandardního bydlení. Cena celého systému je tedy poměrně vysoká, ale zároveň odpovídá použitým technologiím navrženého domovního systému.

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout inteligentní rodinný dům na základě reálných stavebních podkladů. Návrhy všech integrovaných systémů byly projektovány, tak aby vyhovovaly požadavkům pro tvorbu vnitřního mikroklimatu a bylo docíleno optimální tepelné pohody. Rodinný dům je navržen s ohledem na využití obnovitelných zdrojů energie a inteligentní elektroinstalace postavené na sběrníkovém systému KNX. Jednotlivé domovní systémy jsou popsány v teoretické části

Teoretická část se zabývá studií energeticky úsporných budov s možnými způsoby tvorby mikroklimatu. Jsou zde popsány jak jednotlivé elementy ovlivňující vnitřní prostředí, tak i zařízení, kterými lze toto prostředí vytvořit. Dále je v teoretické části uveden náhled do problematiky elektronické zabezpečovací signalizace, elektronické požární signalizace a sběrníkového systému KNX.

Praktická část je rozdělena do několika celků. První část popisuje stavební koncepci a uspořádání tak, jak byl rodinný dům navržen podle architekta. Jsou zde také doplněny informace o rozměrech jednotlivých místností a okrajové podmínky pro danou lokalitu.

Další část praktického návrhu obsahuje výpočty tepelných parametrů objektu, které byly následně použity při návrhu vytápěcí soustavy a soustavy k ohřevu teplé vody. Vytápěcí soustava, jako zdroj tepla pro celý dům, obsahuje tepelné čerpadlo země – voda, které pracuje s plynovým kotlem v bivalentním provozu. Vzduchotechnický systém řeší rozvod tepla v objekt. Teplo vedeno do všech vytápěných místností podlahovým potrubním systémem. Vzduchotechnická jednotka disponuje rekuperačním výměníkem s účinností až 90%. Po dobu teplých letních měsíců umožňuje navržený vzduchotechnický systém i chlazení celého objektu. V místnostech se sociálním zařízením je teplovzdušné vytápění nahrazeno doplňkovým podlahovým vytápěním. Popisovaný systém je vybaven solárními kolektory, které primárně zásobují teplem okruh pro přípravou teplé vody. Kapitola je doplněna o výpočty zabezpečovacích zařízení.

Praktická část se dále zabývá návrhem silnoproudé elektroinstalace, kde byly navrženy světelné a zásuvkové okruhy. Tyto okruhy jsou rozděleny do několika kategorií, které jsou jednotlivě napojeny na vlastní jističe s proudovým chráničem, některá velká zařízení jsou připojena na vlastní napájecí okruh. Světelná tělesa jsou rozmístěna tak, aby

bylo docíleno dostatečného osvětlení v každé místnosti. Silnoproudá elektroinstalace uvažuje s připojením fotovoltaických panelů pro získání energie ze slunečního záření.

Následující kapitola popisuje návrh slaboproudé elektroinstalace se sběrníkovým systémem KNX. Tato inteligentní elektroinstalace umožňuje jednoduchou kontrolu a řízení všech implementovaných domovních systémů z hlavních komunikačních míst, snímačů a čidel nebo pomocí dálkové správy přes Internet. Na systém KNX jsou napojena všechna zařízení pro tvorbu mikroklimatu se světelnými a zásuvkovými obvody. Rozvody sběrnice KNX jsou také propojeny s bezpečnostními systémy EZS, který tvoří plášťovou a prostorovou ochranu, a EPS s detektory kouře a nebezpečných plynů. Řídicí systém je vybaven ovládacím systémem SCADA.

Práce je uzavřena technicko-ekonomickým zhodnocením celého projektu. Celý instalovaný systém pro vytápění a ohřev teplé vody pomocí obnovitelných zdrojů energie a inteligentní elektroinstalace s automatickou regulací a řízením přináší vyšší pořizovací náklady. Prioritou však bylo dosáhnout co nejvyššího komfortu bydlení.

Navržený projekt by mohl být realizován na konkrétní rodinný dům nebo na objekt s podobným využitím. Výsledkem realizace by byla budova disponující nejmodernějšími technologiemi dnešní doby s nízkými provozními náklady.

## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of the thesis was to design a smart house based on the real building bases. The proposals of the all integrated systems were designed to comply with the requirements for the creation of the indoor microclimate and to achieve the optimal thermal comfort. The family house is designed with regard to use of renewable resources and smart wiring based on the bus system KNX. The individual household systems are described in the theoretical part.

The theoretical part deals with the study of energy-saving buildings with possible ways of creating a microclimate. There are described both the individual element which influence indoor environment and the mechanisms which can this environment create. Then in the theoretical part is also an insight into the issue of the electronic security alarm, the electronic fire alarm and the bus system KNX.

The practical part is divided into several units. The first one describes building conception and the arrangement which were designed by the architect. Here is also completed information about the dimension of the individual room and boundary conditions for the given location.

The other part of the practical proposal contains the calculation of the thermal parameters of the object which were then used in the proposal of the heating system and the system of water heating. The heating system, the source of heat for the whole house, contains the ground – water heat pump, which works with the electric boiler in the bivalent operation. The air-conditioning system deals with the distribution of heat in the building. Heat is run into all heating rooms by underfloor pinning system. The air-conditioning unit have a recuperation unit with up to 90% effectiveness. During the hot summer months the suggested air-conditioning system enables also the cooling of the whole building. In the bathrooms there is a complementary uderfloor heating instead of the air heating. The described system includes the solar collectors which primary supply the circuit for preparation of warm water with heat. The chapter is supplemented with the calculations of security mechanism.

The practical part deal with the proposal of high-voltage wiring where was designed lighting and socket circuits. These circuits are divided into several categories which are individually connected to the own circuit breaker with the current protector, some of the

bigger devices are connected to their own power circuit. The luminaries are organized in the way that each room have enough light. The high-voltage wiring deals with the connection of photovoltaic panels for gaining the energy from the solar radiation.

The following chapter describes the proposal of low-voltage wiring with the bus system KNX. This smart wiring enables the simple control and the managing of the all implemented house systems from the major communicative places and or by remote control via internet. The system KNX is linked up with the all installations for creating microclimate with the lighting and socket circuits. The cabling of the bus system KNX are also interconnected with the safety systems I&HAS which create sheathed and space protection, and FDS with the smoke and dangerous gases detectors. The control system is equipped with operating system SCADA.

The work ends with the technical-economic evaluation of the whole project. The whole installed system for heating and hot water, which works thanks to the renewable resources and smart wiring with the automatic regulation and control, causes the higher acquisition cost. But the priority was to achieve the highest living comfort.

The designed project could be implemented on the concrete family house or on the building with the similar use. The result of the realization would be the building which has the latest technology with the low operating expenses.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Nízkoenergetické domy. TZB-info [online]. 2013 [cit. 2013-02-17]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/nizkoenergeticke-domy>
- [2] Pasivní domy. *TZB-info* [online]. 2013 [cit. 2013-02-17]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy>
- [3] Co je pasivní dům?. Centrum pasivního domu [online]. 2013 [cit. 2013-02-18]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/pasivni-dum/co-je-pasivni-dum.html?chapter=definice-rozdeleni-podle-energeticke-narocnosti>
- [4] Nulové domy. TZB-info [online]. 2013 [cit. 2013-02-17]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/smernice-2010-31-eu/7785-nulove-domy>
- [5] Tepelná pohoda a nepohoda. TZB-info [online]. 2013 [cit. 2013-02-18]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>
- [6] ČSN 73 0540 – 1. Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [7] ČSN 73 0540 – 2. Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [8] ČSN 73 0540 – 3. Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [9] ČSN EN ISO 7730. Ergonomie tepelného prostředí - Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [10] ČSN EN 15251. Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [11] Vládní nařízení č. 178/2001 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci: Legislativa - hygiena. TZB-info [online]. 2001 [cit. 2013-02-18]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/692-vladni-narizeni-c-178-2001-sb-kterym-se-stanovi-podminky-ochrany-zdravi-zamestnancu-pri-praci>

- [12] ČSN EN 12831. Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [13] ČSN EN ISO 13790. Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [14] EKOWATT CZ S.R.O. Zásady výstavby nízkoenergetických domů [Informační brožura]. 2010 [cit. 2013].
- [15] Střechy. TZB-info [online]. 2013 [cit. 2013-02-23]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/strechy>
- [16] MLADÁ FRONTA A.S. Doma: Energetická občanka pro váš dům a byt. 2013.
- [17] Průkaz energetické náročnosti budovy. EkoWATT [online]. 2008 [cit. 2013-03-05]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/uspory-energie/prukaz-energeticke-narocnosti-budovy>
- [18] Průkaz energetické náročnosti budov – změny od 1. 1. 2013. BUKAČ, Petr. Hypoindex.cz [online]. 2012 [cit. 2013-03-05]. Dostupné z: <http://www.hypoindex.cz/prukaz-energeticke-narocnosti-budov-undefined-zmeny-od-1-1-2013/>
- [19] QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 296 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [20] CENEK, Miroslav. Obnovitelné zdroje energie. 2. upr. a dopl. vyd. Praha: FCC Public, 2001, 208 s. ISBN 80-901-9858-9.
- [21] VRÁNA, Jakub. Technická zařízení budov v praxi: [příručka pro stavaře]. 1. vyd. Praha: Grada, 2007, 331 s. ISBN 978-80-247-1588-9.
- [22] ČSN 06 0320. Tepelné soustavy v budovách - Příprava teplé vody - Navrhování a projektování. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [23] Nová ČSN 33 2000-7-701: Elektrická instalace budov. TZB-info [online]. 2007 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4121-nova-csn-33-2000-7-701-elektricka-instalace-budov>.
- [24] SCHWARZER, Jan. Teplovzdušné vytápění obytných objektů. 2006.

- [25] ATREA S.R.O. Systém teplovzdušného vytápění a větrání rodinných domů s rekuperací tepla: Projekční podklad. 2006.
- [26] Topenářská příručka 3. 1. vyd. Praha: Agentura ČSTZ, 2007, 378 s. ISBN 978-80-86028-13-2.
- [27] MERZ, Hermann, Thomas HANSEMANN a Christof HÜBNER. Automatizované systémy budov: sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 261 s. ISBN 978-80-247-2367-9.
- [28] ASOCIACE KNX. KNX Základní kurs: KNX Systémové argumenty. Praha, 2009.
- [29] ČSN 06 0310. Tepelné soustavy v budovách - Projektování a montáž. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [30] ČSN 73 0548. Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1985.
- [31] ČSN 06 0830. Tepelné soustavy v budovách - Zabezpečovací zařízení. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [32] CHYSKÝ, Jaroslav. Větrání a klimatizace. Vyd. 3., zcela přeprac. Praha: Česká Matica technická, 1993, 490 s. ISBN 80-901-5740-8.
- [33] LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. Výpočtové tabulky pro vytápění: vztahy a pomůcky. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2001, 208 s. Sešit projektanta - pracovní podklady (Společnost pro techniku prostředí). ISBN 80-020-1466-9.
- [34] ČSN EN 1264-1. Zabudované vodní velkoplošné otopné a chladicí soustavy – Část 1: Definice a značky. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [35] ČSN EN 1264-2+A1. Zabudované vodní velkoplošné otopné a chladicí soustavy – Část 2: Podlahové vytápění: Průkazné postupy pro stanovení tepelného výkonu výpočtovými a experimentálními metodami. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [36] ČSN EN 1264-3. Zabudované vodní velkoplošné otopné a chladicí soustavy – Část 3: Dimenzování. Praha: Český normalizační institut, 2010.

- [37] ČSN EN 1264-4. Zabudované vodní velkoplošné otopné a chladicí soustavy – Část 4: Instalace. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [38] ČSN EN 1264-5. Zabudované vodní velkoplošné otopné a chladicí soustavy - Část 5: Otopné a chladicí plochy zabudované v podlahách, stropech a stěnách - Stanovení tepelného výkonu. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [39] Porovnání nákladů na vytápění TZB-info: Výpočet a grafické porovnání nákladů na vytápění, teplou vodu a elektrickou energii v budovách. TZB-info [online]. 2012 [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-tzb-info>
- [40] BRADÁČOVÁ, Isabela. Požární bezpečnost staveb: nevýrobní objekty. 2., aktualiz. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010, 228 s. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-86111-77-3.
- [41] Vyhláška o technických požadavcích na stavby. In: 268/2009 Sb. 2009.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

|       |   |
|-------|---|
| ČSN   | Česká statní norma  |
| EIB   | European Installation Bus – Evropská instalační sběrnice                    |
| EN    | Evropská norma  |
| EPS   | Elektronická požární signalizace  |
| EZS   | Elektronická zabezpečovací signalizace                                      |
| FV    | Fotovoltaika  |
| ISO   | International Organization for Standardization – označení mezinárodní normy |
| NP    | Nadzemní podlaží  |
| NPK   | Nejvyšší povolená koncentrace   |
| PEL   | Přípustný expoziční limit   |
| PIR   | Pasiv Infra Red detektor – Pasivní infračervené čidlo                       |
| PMV   | Predicted Mean Vote   |
| PPD   | Predicted Percentage of Disappointed  |
| PVC   | Polyvinylchlorid  |
| SCADA | Supervisor, Control And Data Acquisition – správa, řízení a sběr dat.       |
| TV    | Teplá voda  |
| VZT   | Vzduchotechnika   |
| Wi-Fi | Wireless Fidelity – komunikační standard pro bezdrátový přenos dat          |

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

|   |     |
|---|-----|
| Obr. 1. Průkaz energetické náročnosti budovy a Energetický štítek obálky budovy ..... | 47  |
| Obr. 2. Kompresorové tepelné čerpadlo .....   | 52  |
| Obr. 3. Absorpční tepelné čerpadlo .....  | 53  |
| Obr. 4. Jednookruhové řešení solárního systému .....                                  | 60  |
| Obr. 5. Dvouokruhové řešení solárního systému .....                                   | 61  |
| Obr. 6. Průměrná hodnota solárního zisku v ČR .....                                   | 63  |
| Obr. 7. Způsob uložení otopného hadu v podlaze .....                                  | 67  |
| Obr. 8. Základní konstrukce fotovoltaického panelu .....                              | 71  |
| Obr. 9. Situační náčrt 1. nadzemního podlaží .....                                    | 80  |
| Obr. 10. Situační náčrt 2. nadzemního podlaží .....                                   | 81  |
| Obr. 11. Datový výstup aplikace Teplo .....   | 83  |
| Obr. 12. Grafické zhodnocení kondenzace vodní páry v obvodovém plášti budovy.....     | 84  |
| Obr. 13. Náčrt vytápěcí soustavy a soustavy pro ohřev TV .....                        | 89  |
| Obr. 14. Mollierův H-x diagram pro zimní provoz .....                                 | 96  |
| Obr. 15. Rozmístění podlahových vyústek v 1. NP .....                                 | 97  |
| Obr. 16. Rozmístění podlahových vyústek v 2. NP .....                                 | 98  |
| Obr. 17. Mollierův H-x diagram pro letní provoz .....                                 | 100 |
| Obr. 18. Rozdělení ochranných zón v koupelnách .....                                  | 108 |
| Obr. 19. Schéma proudového chrániče .....   | 109 |
| Obr. 20. Návrh zásuvkových okruhů – 1. NP .....                                       | 110 |
| Obr. 21. Návrh zásuvkových okruhů – 2. NP .....                                       | 111 |
| Obr. 22. Návrh světelných okruhů – 1. NP .....  | 112 |
| Obr. 23. Návrh světelných okruhů – 2. NP .....  | 113 |
| Obr. 24. Schéma otopné soustavy s datovými vstupy a výstupy.....                      | 117 |
| Obr. 25. SCADA: Základní přehled v systému KNX.....                                   | 120 |
| Obr. 26. SCADA: Nastavení vytápění v jednotlivých místnostech .....                   | 121 |
| Obr. 27. SCADA: Nastavení osvětlení v jednotlivých místnostech .....                  | 121 |
| Obr. 28. SCADA: Nastavení žaluzií v jednotlivých místnostech.....                     | 122 |
| Obr. 29. Návrh rozmístění prvků KNX – 1. NP .....                                     | 123 |
| Obr. 30. Návrh rozmístění prvků KNX – 2. NP .....                                     | 124 |
| Obr. 31. Návrh rozmístění prvků EZS a EPS – 1. NP .....                               | 127 |

Obr. 32. Návrh rozmístění prvků EZS a EPS – 2. NP ..... 128

**SEZNAM TABULEK**

|  |    |
|--|----|
| Tab. 1. Rozdělení budov podle spotřeby energie [1],[2],[3],[4] .....   | 15 |
| Tab. 2. Tepelný odpor oděvu .....  | 19 |
| Tab. 3. Závislost součinitele A na rychlosti proudění vzduchu .....  | 20 |
| Tab. 4. Hodnoty indexu PMV .....   | 20 |
| Tab. 5. Energetický výdej člověka .....  | 21 |
| Tab. 6. PEL a NPK chemických látek v ovzduší na pracovišti .....   | 23 |
| Tab. 7. Referenční hodnoty akustiky .....  | 24 |
| Tab. 8. Množství čerstvého vzduchu na osobu .....  | 26 |
| Tab. 9. Optimální mikroklimatické podmínky .....   | 26 |
| Tab. 10. Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce .....  | 30 |
| Tab. 11. Tepelný odpor na vnější straně konstrukce .....   | 30 |
| Tab. 12. Výběr požadovaných a doporučených hodnot součinitele prostupu tepla .....   | 31 |
| Tab. 13. Hodnoty součinitele typu budovy .....   | 32 |
| Tab. 14. Návrhové hodnoty činitele teplotní redukce .....  | 34 |
| Tab. 15. Hodnoty poklesu konečné teploty .....   | 36 |
| Tab. 16. Hodnoty stínícího součinitele pro okna a stínicí prvky .....  | 40 |
| Tab. 17. Hodnoty korekčního zátopového činitele .....  | 41 |
| Tab. 18. Třídy energetické náročnosti budovy .....   | 45 |
| Tab. 19. Měrná spotřeba energie budovy v kWh/(m <sup>2</sup> ·rok) .....   | 46 |
| Tab. 20. Měrný odváděcí výkon dle typu půdy .....  | 54 |
| Tab. 21. Množství spotřeby teplé vody na osobu .....   | 61 |
| Tab. 22. Performance Ratio fotovoltaických systémů .....   | 72 |
| Tab. 23. Základní seznam místností .....   | 82 |
| Tab. 24. Výpočtové okrajové podmínky .....   | 82 |
| Tab. 25. Souhrn zjištěných hodnot součinitele prostupu tepla U, činitele teplotní redukce b a měrné ztráty prostupem H pro stanovení energetického štítu ..... | 85 |
| Tab. 26. Výsledné hodnoty k vystavení energetického štítu .....  | 85 |
| Tab. 27. Celkový návrhový výkon objektu .....  | 87 |
| Tab. 28. Vstupní parametry pro výpočet tepelných zisků .....   | 87 |
| Tab. 29. Vyhodnocení výpočtu tepelných zisků .....   | 88 |
| Tab. 30. Parametry tepelného čerpadla .....  | 90 |

---

|  |     |
|--|-----|
| Tab. 31. Parametry vytápěcího kotle.....                           | 90  |
| Tab. 32. Parametry zásobníku na teplou vodu .....                  | 92  |
| Tab. 33. Parametry solárního kolektoru.....                        | 93  |
| Tab. 34. Množství přiváděného vzduchu teplovzdušným vytápěním..... | 94  |
| Tab. 35. Parametry vzduchotechnické jednotky .....                 | 95  |
| Tab. 36. Parametry podlahového vytápění.....                       | 103 |
| Tab. 37. Směrné hodnoty teplotnosné látky.....                     | 105 |
| Tab. 38. Měrné zvětšení objemu expanzní nádrže.....                | 105 |
| Tab. 39. Návrh expanzních nádrží .....                             | 106 |
| Tab. 40. Parametry fotovoltaického panelu .....                    | 114 |
| Tab. 41. Ceny použitých technologií .....                          | 130 |
| Tab. 42. Kumulovaná úspora nákladů .....                           | 131 |
| Tab. 43. Srovnání nákladů s tradičním řešením.....                 | 132 |

**SEZNAM GRAFŮ**

|  |     |
|--|-----|
| Graf 1. Energetické srovnání budov .....                     | 16  |
| Graf 2. Oblast tepelné pohody .....                          | 18  |
| Graf 3. Závislost indexu PPD na indexu PMV .....             | 21  |
| Graf 4. Srovnání součinitele prostupu tepla U.....           | 44  |
| Graf 5. Zdroje energie v ČR v roce 2009.....                 | 48  |
| Graf 6. Grafické vyhodnocení tepelných zisků během dne ..... | 88  |
| Graf 7. Dodávka a odběr tepla při ohřevu vody.....           | 91  |
| Graf 8. Náklady na energie v rodinném domě .....             | 129 |

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Tepelné zisky

# PŘÍLOHA P I: TEPELNÉ ZISKY

| Měsíc | Hodiny       |              |              |              |              |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |            |           |             |             |              |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-----------|-------------|-------------|--------------|
|       | 1            | 2            | 3            | 4            | 5            | 6           | 7           | 8           | 9           | 10          | 11          | 12          | 13          | 14          | 15          | 16          | 17          | 18          | 19          | 20         | 21        | 22          | 23          | 24           |
| 1     | -7255        | -7452        | -7527        | -7495        | -7376        | -3748       | -3410       | -3000       | -2564       | -2111       | -1694       | -1322       | -1029       | -829        | -757        | -773        | -946        | -1189       | -4951       | -5337      | -5780     | -6232       | -6614       | -6967        |
| 2     | -5831        | -6037        | -6109        | -6072        | -5940        | -1955       | -1658       | -1246       | -816        | -357        | 65          | 433         | 733         | 921         | 997         | 983         | 816         | 569         | -3537       | -3934      | -4377     | -4783       | -5183       | -5540        |
| 3     | -4473        | -4677        | -4753        | -4710        | -4576        | -504        | -196        | 208         | 641         | 1056        | 1477        | 1847        | 2141        | 2335        | 2421        | 2397        | 2226        | 1980        | -2189       | -2589      | -2985     | -3411       | -3816       | -4174        |
| 4     | -3327        | -3525        | -3598        | -3556        | -3420        | 754         | 1076        | 1483        | 1866        | 2321        | 2737        | 3108        | 3406        | 3599        | 3673        | 3660        | 3491        | 3243        | -1036       | -1397      | -1822     | -2250       | -2663       | -3027        |
| 5     | -2381        | -2589        | -2660        | -2618        | -1969        | 1788        | 2116        | 2542        | 2918        | 3354        | 3772        | 4174        | 4466        | 4667        | 4749        | 4733        | 4554        | 4311        | 426         | -434       | -863      | -1308       | -1723       | -2089        |
| 6     | -1773        | -1982        | -2048        | -1992        | -1245        | 2359        | 2690        | 3082        | 3492        | 3960        | 4377        | 4750        | 5045        | 5232        | 5320        | 5296        | 5130        | 4886        | 1195        | 234        | -255      | -695        | -1109       | -1476        |
| 7     | <b>-1490</b> | <b>-1686</b> | <b>-1764</b> | <b>-1724</b> | <b>-1195</b> | <b>2615</b> | <b>2939</b> | <b>3339</b> | <b>3738</b> | <b>4214</b> | <b>4634</b> | <b>5011</b> | <b>5306</b> | <b>5490</b> | <b>5572</b> | <b>5560</b> | <b>5393</b> | <b>5150</b> | <b>1237</b> | <b>485</b> | <b>18</b> | <b>-408</b> | <b>-827</b> | <b>-1192</b> |
| 8     | -1552        | -1753        | -1826        | -1786        | -1649        | 2528        | 2843        | 3254        | 3640        | 4126        | 4544        | 4915        | 5211        | 5404        | 5483        | 5466        | 5296        | 5052        | 776         | 404        | -44       | -476        | -893        | -1251        |
| 9     | -2001        | -2210        | -2280        | -2241        | -2105        | 1826        | 2137        | 2519        | 2949        | 3403        | 3856        | 4236        | 4525        | 4719        | 4797        | 4777        | 4608        | 4367        | 323         | -106       | -515      | -932        | -1349       | -1704        |
| 10    | -2763        | -2972        | -3047        | -3007        | -2871        | 1121        | 1411        | 1826        | 2256        | 2709        | 3132        | 3542        | 3827        | 4019        | 4102        | 4084        | 3914        | 3680        | -468        | -867       | -1308     | -1717       | -2111       | -2466        |
| 11    | -3834        | -4030        | -4113        | -4074        | -3952        | -318        | 11          | 422         | 858         | 1309        | 1729        | 2101        | 2396        | 2592        | 2673        | 2650        | 2480        | 2235        | -1521       | -1917      | -2362     | -2808       | -3192       | -3539        |
| 12    | -5055        | -5262        | -5335        | -5304        | -5185        | -1733       | -1396       | -985        | -557        | -102        | 322         | 712         | 991         | 1180        | 1263        | 1240        | 1075        | 832         | -2742       | -3140      | -3581     | -4030       | -4427       | -4769        |