

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

---

**OPTIMALIZACE NÁVRHU VÝMĚNÍKOVÝCH STANIC**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta strojní**

Ústav techniky prostředí

Akademický rok: 2015/2016

**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

**Jméno studenta(ky): Bc. Stanislav NOVÁK**

**Studijní program: Strojní inženýrství**

**Obor: Technika životního prostředí**

**Název česky: Optimalizace návrhu výměňkových stanic**

**Název anglicky: Optimization of Heat Exchange Stations Design**

**Zásady pro vypracování:**

Proveďte analýzu spotřeby tepla na vytápění u obytných budov. Spotřebu tepla porovnejte s matematickými modely na základě výpočtu potřeby tepla denostupňovou metodou a požadavků na výpočet energetické náročnosti budovy.

Řešte možnosti úprav návrhu výměňkové stanice pro vytápění budovy s ohledem na výstup analýzy. Zohledněte investiční a provozní požadavky.

## **SOUHRN**

Cílem této diplomové práce je analýza a optimalizace metod výpočtu potřeby tepla u obytných budov. Práce popisuje vytvoření výpočtového softwaru, který splňuje reálné provozní podmínky u obytných budov v ČR. Vyhodnocení je provedeno na základě statistického měření několika obytných budov z rozdílným způsobem provozu. Všechny posuzované budovy nemají navrženy nucený systém větrání. Větrání posuzovaných objektů je zajištěno přirozeným způsobem. Práce vyhodnocuje chování jednotlivých uživatelů a sestavuje předběžný model větrání vyhovující parametrům pro výpočet potřeby tepla. Nedílnou částí práce je rozvaha na investičními a provozními náklady výměňkových stanic s ohledem na reálnou potřebu tepla.

## **SUMMARY**

The aim of this thesis is the analysis and optimization of methods for calculating heat demand in residential buildings. The thesis describes the creation of calculation software that mens the real operating condition of the residential uilding in czech republic. Evaluation is made on the basis of statistical measurements of operation. All assessed building were not designed with forced mechanical ventilation systém. Ventilation examined objet sis provided in a natural way. Work evaluates the behavior of individual user and draw up a provisional ventilation model complying with the parameters for the calculation of the heat demand. An integral part of the thesis is the balance sheet of investment and operating costi of exchanger stations with regard to the real need for heat.

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Optimalizace návrhu výměňkových stanic“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Vavříčky Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze .....

.....

podpis studenta

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Romanu Vavříčkovi, Ph.D. za vedení diplomové práce a také za jeho podporu, trpělivost, rady, inspiraci a diskuze nejen při vypracování této diplomové práce.

## Obsah

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Úvod .....  | 10 |
| 2   | Teoretická potřeba tepla na vytápění.....   | 11 |
| 2.1 | Denostupňová metoda .....   | 21 |
| 2.2 | ČSN EN ISO 13 790 .....   | 25 |
| 3   | Výměníkové stanice ("VS") .....   | 30 |
| 4   | Popis posuzovaných objektů .....  | 37 |
| 4.1 | Objekt Brdičkova 1916-1921 .....  | 37 |
| 4.2 | Objekt U Velkého rybníka 2210/113 .....   | 39 |
| 4.3 | Objekt Augustinova 2064-2066 .....  | 41 |
| 4.4 | Objekt Šimonova 1104-4 .....  | 43 |
| 5   | Sestavení výpočtového softwaru .....  | 45 |
| 5.1 | Denostupňová metoda .....   | 49 |
| 5.2 | ČSN EN ISO 13 790 .....   | 51 |
| 6   | Vyhodnocení posuzovaných objektů.....   | 53 |
| 6.1 | Objekt Brdičkova 1916-1921 .....  | 53 |
| 6.2 | Objekt U Velkého rybníka 2210/113 .....   | 58 |
| 6.3 | Objekt Augustinova 2064-2066 .....  | 61 |
| 6.4 | Objekt Šimonova 1104-4 .....  | 64 |
| 6.5 | Zhodnocení vypočtených dat .....  | 67 |
| 7   | Možnosti optimalizace návrhu výměníkové stanice s ohledem na reálnou potřebu tepla..... | 69 |
| 8   | Závěr.....  | 74 |
| 9   | Literatura .....  | 76 |
| 10  | Seznam příloh.....  | 77 |

## Seznam použitého značení

|             |  |                   |
|-------------|--|-------------------|
| a           | číselný parametr pro výpočet tepelných zisků                         | -                 |
| $A_j$       | plocha konstrukce  | $m^2$             |
| $A_{s,n,j}$ | solární sběrná plocha n-tého transparentního prvku s j-tou orientací | $m^2$             |
| $A_w$       | plocha prvku   | $m^2$             |
| c           | měrná tepelná kapacita vzduchu                                       | J/kg.K            |
| $c_0$       | součinitel sálání absolutně černého tělesa                           | $W/m^2 \cdot K^4$ |
| $c_1$       | součinitel současnosti využití svítidel                              | -                 |
| d           | počet dnů tepleného období   | dny               |
| $d_{tr}$    | vnější průměr potrubí  | mm                |
| D           | denostupeň   | den.°C            |
| e           | opravný součinitel   | -                 |
| $e_d$       | opravný součinitel na zkrácení doby provozu                          | -                 |
| $e_t$       | opravný součinitel na snížení vnitřní teploty                        | -                 |
| $F_c$       | korekční činitel clonění   | -                 |
| $F_f$       | korekční činitel rámu  | -                 |
| $F_h$       | činitel stínění horizontem   | -                 |
| $F_o$       | činitel stínění markýzou   | -                 |
| $F_t$       | činitel stínění bočními žebry  | -                 |
| $F_s$       | korekční činitel stínění   | -                 |
| $F_w$       | korekční činitel pro zvýšené ztráty odrazem                          | -                 |
| $g_{\perp}$ | energetická propustnost zasklení                                     | -                 |
| H           | měrný tepelný tok budovy   | W/K               |
| $H_j$       | měsíční dávka ozáření pro j-tou orientaci                            | $kWh/m^2$         |
| $H_p$       | měrný tepelný tok prostupem  | W/K               |
| $H_v$       | měrný tepelný tok větráním   | W/K               |
| k           | počet osob   | -                 |
| $l_k$       | délka tepelného mostu  | m                 |
| m           | hmotnostní průtok teplonosné látky                                   | $m^3/h$           |

|                |  |                |
|----------------|--|----------------|
| $m_{tr}$       | 1 m potrubí                                  | m              |
| $n$            | násobnost výměny vnitřního vzduchu           | $h^{-1}$       |
| $n_d$          | počet dětí                                   | -              |
| $n_m$          | počet mužů                                   | -              |
| $n_l$          | počet osob                                   | -              |
| $n_z$          | počet žen                                    | -              |
| $p$            | tlaková ztráta                               | kPa            |
| $Q_1$          | přípojná hodnota podle dle provozní špičky 1 | kWh            |
| $Q_2$          | přípojná hodnota podle dle provozní špičky 2 | kWh            |
| $Q_c$          | celková tepelná ztráta vytápěné zóny         | W              |
| $Q_l$          | tepelné zisky od osob                        | W              |
| $Q_{int}$      | vnitřní tepelné zisky                        | kWh            |
| $Q_{int,p}$    | průměrný výkon vnitřních zisků               | kWh            |
| $Q_p$          | teplená ztráta prostupem                     | W              |
| $Q_{reál}$     | reálná naměřená potřeba tepla                | W              |
| $Q_{skut}$     | skutečná potřeba tepla na vytápění           | kWh            |
| $Q_{sol}$      | solární tepelné zisky                        | kWh            |
| $Q_{tech}$     | tepelný výkon technologie                    | kWh            |
| $Q_{top}$      | největší tepelný výkon pro vytápění          | kWh            |
| $Q_{tv}$       | normový tepelný výkon pro ohřev vody         | kWh            |
| $Q_v$          | teplená ztráta větráním                      | W              |
| $Q_{vyt,skut}$ | skutečná spotřeba tepla na vytápění          | J              |
| $Q_{vyt,teor}$ | teoretická spotřeba tepla na vytápění        | J              |
| $Q_{vzd}$      | největší tepelný výkon pro vzduchotechniku   | kWh            |
| $Q_{zisk}$     | celkové tepelné zisky vytápěné zóny          | kWh            |
| $R$            | tepelný odpor                                | $m^2.K/W$      |
| $S$            | plocha                                       | $m^2$          |
| $S_{tr}$       | vnější povrch potrubí o délce 1 m            | $m^2/(m_{tr})$ |
| $t$            | délka kroku výpočtu                          | hod            |
| $t_e$          | venkovní výpočtová teplota                   | $^{\circ}C$    |



|                    |   |                     |
|--------------------|---|---------------------|
| $t_{es}$           | průměrná venkovní teplota v otopném období        | °C                  |
| $t_{ev}$           | oblastní výpočtová teplota                        | °C                  |
| $t_i$              | vnitřní výpočtová teplota                         | °C                  |
| $t_{is}$           | průměrná vnitřní teplota objektu                  | °C                  |
| $t_{m2}$           | teplota media ve zpětném potrubí                  | °C                  |
| $t_{tr}$           | povrchová teplota potrubí                         | °C                  |
| $t_w$              | střední teplota vody ve sledovaném úseku potrubí  | °C                  |
| $T$                | absolutní teplota                                 | K                   |
| $U_j$              | součinitel prostupu tepla                         | W/m <sup>2</sup> .K |
| $V_a$              | průměrný objemový tok větracího vzduchu           | m <sup>3</sup> /h   |
| $V_{a,d}$          | průměrný návrhový objemový tok větracího vzduchu  | m <sup>3</sup> /h   |
| $V_{obj}$          | objem vnitřního vzduchu                           | m <sup>3</sup>      |
| $\Delta t$         | teplotní spád                                     | K                   |
| $\alpha_k$         | součinitel přestupu tepla konvekcí                | W/m <sup>2</sup> .K |
| $\alpha_s$         | součinitel přestupu tepla sáláním                 | W/m <sup>2</sup> .K |
| $\varepsilon$      | opravný součinitel                                | -                   |
| $\varepsilon_{tr}$ | emisivita potrubí                                 | -                   |
| $\varepsilon_{op}$ | emisivita povrchu okolních stěny                  | -                   |
| $\eta_g$           | faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění | -                   |
| $\eta_K$           | účinnost zdroje tepla                             | -                   |
| $\eta_O$           | účinnost obsluhy                                  | -                   |
| $\eta_R$           | účinnost rozvodu tepelné energie                  | -                   |
| $\rho$             | hustota vzduchu                                   | kg/m <sup>3</sup>   |
| $\tau$             | časová konstanta vytápěné zóny                    | h                   |
| $\Upsilon$         | poměr tepelných zisků                             | -                   |
| $\Psi_k$           | tepelné mosty                                     | W/m.K               |

## 1 Úvod

Výpočet potřeby tepla je stěžejní nástroj při stanovení provozních nákladů na vytápění. Bohužel je tento výpočet zatížen výraznou nejistotou. Nejistoty jsou dány hlavně výpočtem jednotlivých veličin, které jsou založeny na teoretických okrajových podmínkách, které pak v reálném provozu budovy nejsou většinou dodrženy. Navíc u takového předběžného výpočtu nelze predikovat průběhy otopného období, které na výsledek výpočtu mají nejvýraznější vliv.

Z hlediska metodik výpočtu potřeby tepla na vytápění pro obytné objekty lze využít postupy dle normy ČSN EN ISO 13 790 - Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení, nebo postupovat v souladu s tzv. denostupňovou metodou. Výsledky dosažené prostým použitím obou metod se, ale od skutečné spotřeby tepla velmi liší. Cílem této diplomové práce je analyzovat odchylky mezi vypočtenou potřebou tepla dle uvedených metod a reálně naměřenou spotřebou tepla pro vybrané bytové objekty. Na základě analýzy bude provedena optimalizace výpočtových modelů, tak aby bylo dosaženo co nejmenší odchylky mezi výpočtem a reálnou spotřebou. Součástí této práce bude vytvoření výpočtového softwaru, který zpřesní výpočet potřeby tepla na vytápění pro obytné objekty a nabídne uživateli různé modelové situace provozu domu. Nedílnou součástí této práce bude také vliv výpočtového modelu potřeby tepla na návrh výměňkové stanice bytového domu a jeho vliv na provozní parametry stanice.

## 2 Teoretická potřeba tepla na vytápění

Teoretická potřeba tepla na vytápění je teplo, které je třeba dodat do vytápěných prostor tak, aby při daných tepelně akumulacích vlastnostech stavby a při daných klimatických podmínkách byla zajištěna vnitřní požadovaná teplota. Skutečná potřeba tepla, tj. spotřeba energie, je větší ještě o provozní ztráty, které vznikají při výrobě a distribuci tepla po objektu. Ztráty tepla při výrobě, tzn. ztráty kotle nebo centrální zásobování teplem, jsou vyjádřeny jejich účinnostmi a lze s nimi poměrně přesně počítat. Ztráty rozvodem tepla jsou závislé jednak na tloušťce tepelné izolace potrubních sítí a jednak na skutečném provedení izolace na potrubí.

Potřebu tepla ovlivňuje mnoho faktorů, které při jejím výpočtu je nutné zohlednit. Jedná se zejména o tepelné ztráty větráním  $Q_v$  [W] a tepelné ztráty prostupem  $Q_p$  [W]. Naproti tomu tepelné zisky  $Q_{zisk}$  [W] tepelné ztráty korigují. Tepelné ztráty se určují pomocí venkovní výpočtové teploty  $t_e$  [°C], která má velký vliv na teoretickou potřebu tepla. Vliv na potřebu tepla má například nepřerušované vytápění v budově nebo účel budovy. Pokud je vytápění přerušované, pak se délka vytápění v průběhu dne mění dle aktuální potřeby. Následující odstavce přibližují nejdůležitější parametry, které ovlivňují výpočet potřeby tepla.

### **Tepelná ztráta větráním $Q_v$ [W]**

Tepelná ztráta větráním vzniká v důsledku odvádění vzduchu z vytápěného do nevytápěného prostoru (únik vzduchu spárami a netěsnostmi obálky budovy) a větráním (cílenou výměnou vzduchu okny). Základním požadavkem národní přílohy normy ČSN EN 15 665/Z1 je zajištění trvalého přívodu venkovního vzduchu s minimální intenzitou větrání  $0,3$  [ $h^{-1}$ ] v obytných prostorech (pokoje, ložnice, kuchyně). Pro vyšší požadovanou kvalitu vnitřního vzduchu se doporučuje intenzita větrání  $0,5$  až  $0,7$  [ $h^{-1}$ ]. V době kdy obytné budovy nejsou dlouhodobě využívány (dovolené, víkendy) lze připustit provoz s nižší intenzitou větrání  $0,1$  [ $h^{-1}$ ] vztaženou k celkovému vnitřnímu objemu bytu. [12]

Současný trend zdražování energií napomáhá k nepřiměřenému šetření a právě tepelná ztráta větráním je nejvíce ovlivněna lidským faktorem což má za následek nízké intenzity větrání, jehož důsledkem je nepřijatelná kvalita vnitřního prostředí.

### **Tepelná ztráta prostupem $Q_P$ [W]**

Tepelná ztráta prostupem udává celkovou hodnotu výměny tepla mezi prostory oddělenými od sebe určitou stavební konstrukcí. Hlavními parametry jsou součinitel prostupu tepla  $U$  [ $W/m^2.K$ ] a tepelný odpor  $R$  [ $m^2.K/W$ ], které jsou mezi sebou vzájemně provázány a to nepřímo úměrně. Tedy čím větší je tepelný odpor materiálu  $R$ , tím menší bude součinitel prostupu tepla  $U$ . To má za následek snahu o lepší tepelně-izolační vlastnosti materiálů, které pak ovlivňují velikost tepelné ztráty prostupem. [1]

### **Délka otopného období $d$ [dny]**

Délka otopného období je definována vyhláškou č. 237/2014 Sb. (dříve vyhláška č. 194/2007 Sb.) je časový úsek mezi obdobími, kdy průměrná venkovní teplota dva dny po sobě klesne pod  $+ 13$  °C a následující dny je předpoklad, že tomu také tak bude a naopak dny kdy venkovní teplota dva dny po sobě vystoupá nad hodnotu  $+ 13$  °C a dle předpovědi na další dny je tento předpoklad zachován. Z výše uvedené definice vyplývá, že např. pro Prahu je délka otopného období 225 dnů, pro Plzeň 242 dnů, atd. Základní přehled je uveden v tabulce (2.1).

*Tab. 2.1 - Základní přehled délky otopného období*

| Lokalita     | Délka otopného období [dny] |
|--------------|-----------------------------|
| Olomouc      | 231                         |
| Ostrava      | 229                         |
| Brno         | 232                         |
| Pardubice    | 234                         |
| Liberec      | 256                         |
| Jihlava      | 257                         |
| Karlovy Vary | 254                         |
| Kladno       | 258                         |
| Zlín         | 226                         |

### **Průběh venkovní teploty $t_e$ [°C]**

Průměrná denní výpočtová teplota venkovního vzduchu je termín z oblasti meteorologie. Každá výpočtová metoda potřeby tepla zohledňuje venkovní výpočtovou teplotu. Je tedy zřejmé, že při návrhu potřeby tepla, venkovní teplota výrazně ovlivňuje jeho výslednou hodnotu.

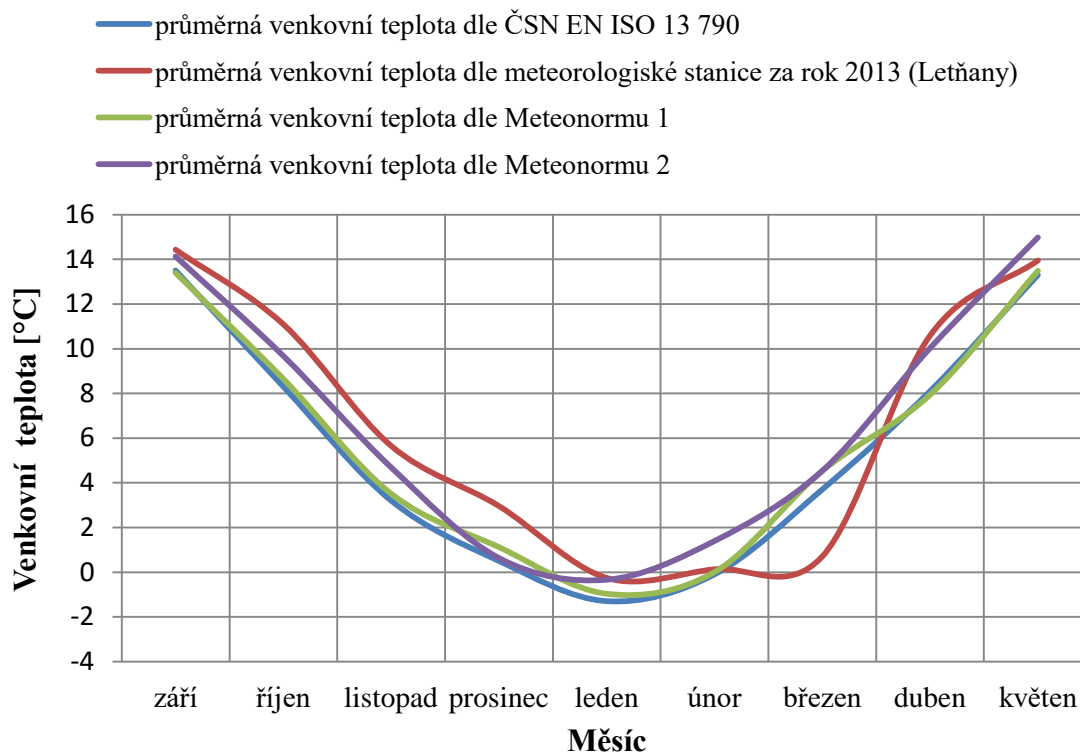
Venkovní výpočtové teploty vzduchu je možné čerpat z několika zdrojů. Jedním z nich je norma ČSN EN ISO 13790 [2], která udává průměrné měsíční teploty. Nicméně nejpřesnější průměrné venkovní teploty se získávají přímo z meteorologických stanic. Pro reálné oblastní hodnoty byla vybrána meteorologická stanice Praha – Letňany. Porovnání tří různých zdrojů pro oblast Praha - Letňany zobrazuje *Graf 2.1 Porovnání průměrných venkovních teplot z různých datových zdrojů*

Dalším zdrojem pro získání průběhu venkovní teploty v otopném období jsou různé modulované programy. Pro účely této diplomové práce byl vybrán software Meteonorm (<http://meteonorm.com/>), který poskytl údaje o průměrné venkovní teplotě v hodinových intervalech dané lokality z měřených hodnot z let 1961 až 1990 (Meteonorm 1) a z období 2000 až 2009 (Meteonorm 2).

Software Meteonorm byl vytvořen na počátku 80 let za účasti výzkumné skupiny vysokých škol a vědců a je neustále vyvíjen i v dnešní době. Funguje na celosvětové úrovni a umožňuje přístup k databázi údajů z více než 8 325 meteorologických stanic, kdekoliv na světě. V současné verzi softwaru je většina dat převzata z Geba (Global Energy archivační bilance), a jsou rozdělena na dvě období (1961-1990 a 2000-2009) pro tyto období lze získat například údaje:

- teplota okolního vzduchu,
- vlhkost,
- srážky,
- rychlost větru,
- směr větru,
- trvání slunečního svitu.

Tyto data lze exportovat v mnoha různých formátech, ze kterých lze vkládat data do simulačních a návrhových softwarů. Data se zaznamenávají po hodinových cyklech a lze exportovat i měsíční hodnoty.



Graf 2.1 - Porovnání průměrných venkovních teplot z různých datových zdrojů.

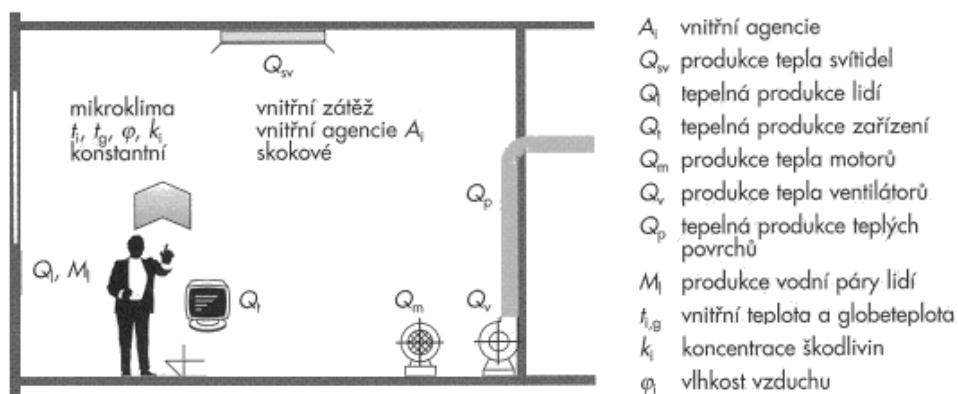
Z grafu 2.1 je patrné, že průměrná venkovní teplota za otopné období by měla průměrovat reálný průběh venkovních teplot v dané lokalitě. ČSN EN ISO 13790 se v porovnání s teplotami z meteorologické stanice téměř přibližuje reálnému průběhu, ale i přesto je vidět rozdíl (zejména v přechodném období), který hraje roli při výpočtu potřeby tepla. Průměrná teplota z Meteorormu 1 je v podstatě totožná s průběhem teplot dle ČSN EN ISO 13 790. To je zapříčiněno průměrováním teplot z období 1961 až 1990, z čehož vycházejí i průměrné teploty ČSN EN ISO 13 790. Průběh teplot dle dat z Meteorormu 2 je převzata z hodnot teplot v období 2000 až 2009 což se více blíží reálným teplotám z meteorologické stanice pro rok 2012. Podrobnější popis vlivu těchto rozdílů teplot na výpočet je uveden v kapitole „6 Vyhodnocování posuzovaných objektů“.

### Tepelné zisky objektu $Q_{zisk}$ [W]

Tepelné zisky ve výpočtu korigují tepelné ztráty. Využívání tepelných zisků nám pomáhá snižovat tepelné ztráty, ale kromě toho můžeme říci, že z hlediska řešení a řízení hydraulických poměrů v otopných soustavách způsobují také poruchové vlivy. Např. vliv oslunění je korigován termostatickými hlavicemi a tím přímo snižuje průtok otopné vody soustavou. Výsledkem je potom změna hydraulických charakteristik a pracovních bodů otopné soustavy. Pro zabývání se tepelnými zisky jsou tři důvody:

- snižování tepelných ztrát,
- řešení vlivů na seřizené otopné soustavy,
- odvádění tepelné zátěže, což spadá do kategorie klimatizace.

Tepelné zisky rozdělujeme na různé skupiny a kategorie. Především mluvíme o vnitřních a vnějších tepelných ziscích. Vnější tepelné zisky jsou hlavně z oslunění, kdy energie sluneční radiace působí na povrchy budov a proniká do místností transparentními výplněmi budovy. Vnitřní zisky jsou různé a mohou být jednak citelné např. od elektrických spotřebičů - osvětlení, televizní přijímače, počítače a jiná elektrotechnika, a jednak vázané tj. z teplé vody při koupání, sprchování, z vaření apod.



Obr. 2.1 - Schéma složek vnitřní tepelné zátěže [13]

Pro obytné objekty jsou nejvýznamnějšími tepelnými zisky od lidí, osvětlení a vybavení kuchyně.

**Produkce tepla lidí**

Do této složky se započte jen citelné teplo, jehož hodnota závisí na teplotě vzduchu a činnosti člověka. Za výchozího odvození se považuje produkce citelného tepla muže 62 [W] při mírné aktivní práci při teplotě okolí 20 [°C] [13].

$$Q_l = n_l \cdot 6,2 \cdot (36 - t_i) \quad (1)$$

$$n_l = 0,85 \cdot n_z + 0,75 \cdot n_d + n_m \quad (2)$$

- $Q_l$  - celkové tepelné zisky od osob [W],
- $t_i$  - průměrná vnitřní teplota objektu [°C],
- $n_z$  - počet žen,
- $n_d$  - počet mužů,
- $n_m$  - počet dětí,
- $n_l$  - počet osob.

**Produkce tepla svítidel**

Produkce tepla svítidel  $Q_{sv}$  se počítá pro prostory bez oken (kina, divadla) a místnosti s požadavkem na vyšší intenzitu osvětlení, kde nestačí přirozené osvětlení. U hlubokých místností se uvažuje s umělým osvětlením ve vzdálenosti větší než 5 m od okna. U svítidel se předpokládá, že se jejich celý elektrický příkon změní v teplo. Výchozí pro výpočet je intenzita osvětlení, ze které se odvodí celkový příkon svítidel  $P$  [13].

$$Q_{sv} = P \cdot c_1 \quad (3)$$

- $Q_{sv}$  - celkové tepelné zisky od osvětlení [W],
- $c_1$  - součinitel současnosti využití svítidel [-].



V průmyslu hrají roli tepelné zisky od technologických zařízení. Do této kategorie vnitřních zisků započítáváme i tepelné zisky od osob, které produkují metabolické teplo podle druhu činnosti. Zvláštními tepelnými zisky lze nazvat tepelné ztráty neizolovaného potrubí otopných soustav ve vnitřních prostorách bytů [11]. Tyto tepelné zisky mohou hrát výraznou roli zejména u bytových domů s převážně vertikálními otopnými soustavami.

Pokud vytápěným prostorem prochází potrubí, které je tepelně neizolované (např. vertikální větve – stoupačky, přípojné potrubí k otopným tělesům) a které ze svého povrchu sdílí teplo do vytápěného prostoru, jedná se o dodatečný tepelný výkon, resp. zisk pro vytápěný prostor. Samozřejmě z pohledu rozvodů potrubních sítí se také jedná i tepelnou ztrátu rozvodů tepla. Teplo z teplotonosné látky protékající potrubím se sdílí z povrchu neizolované trubky do vytápěného prostoru konvekcí (prouděním) a radiací (sáláním). Základní zjednodušený vztah, který nám umožní stanovit tepelný výkon jednoho metru trubky, je následující:

$$\dot{Q} \approx (\alpha_k + \alpha_s) \cdot S_{tr} \cdot (t_{tr} - t_i) \quad (4)$$

- $\alpha_k$  - součinitel přestupu tepla konvekcí [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ],
- $\alpha_s$  - součinitel přestupu tepla sáláním [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ],
- $S_{tr}$  - vnější povrch potrubí o délce 1 m [ $\text{m}^2/(\text{m}_{tr})$ ],
- $t_{tr}$  - povrchová teplota potrubí (lze uvažovat  $t_{tr} \approx t_w$ ) [ $^{\circ}\text{C}$ ],
- $t_i$  - teplota okolního vzduchu [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Přestup tepla konvekcí (prouděním) je fyzikálně velmi složitý jev, přesný výpočet je možný jen v některých jednoduchých případech. Praktické výpočty se dnes provádějí obvykle podle kritériálních rovnic nebo podle empirických vztahů. Pro přestup tepla konvekcí u svislého potrubí lze použít kritériální rovnici ve tvaru

$$\alpha_k = 1,45 \cdot (t_w - t_i)^{0,25} \quad (5)$$

a pro vodorovné potrubí ve tvaru

$$\alpha_k = 1,22 \cdot \left( \frac{t_w - t_i}{d_{tr}} \right)^{0,25} \quad (6)$$

$t_w$  - střední teplota vody ve sledovaném úseku potrubí [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$t_i$  - vnitřní výpočtová teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$d_{tr}$  - vnější průměr potrubí [mm].

Mechanismus sálavého přenosu tepla je zásadně odlišný od mechanismu molekulárního nebo turbulentního přenosu. Tepelné záření (sálání) se liší od ostatních elektromagnetických vln pouze způsobem svého vzniku (vzniká v důsledku teplotních excitací). Pro případ potrubí je nutné do výpočtu zahrnout několik předpokladů. První je, že potrubí je místností zcela obklopeno, a proto je možné úhlový součinitel osálení mezi potrubím a okolními plochami uvažovat  $\varphi_{tr,i} = 1$ . Další zjednodušení platí pro emisivity. Emisivita (resp. poměrná pohltivost) je definována jako poměr intenzity vyzařování skutečného měřeného tělesa k intenzitě vyzařování absolutně černého (ideálního) tělesa se stejnou teplotou. Emisivita povrchu okolních stěn, na které potrubí sálá, je většinou v rozsahu  $\varepsilon_{op} = 0,93$  až  $0,95$ . Z tohoto důvodu je možné pro tyto případy emisivitu okolních ploch zanedbat. Poslední zjednodušení je s ohledem na teplotu okolních ploch tu. Pro výpočet je možné tuto teplotu nahradit teplotou vzduchu, tj.  $t_u \approx t_i$ . Zjednodušený zápis pro součinitel přestupu tepla sáláním je pak možný ve tvaru

$$\alpha_s = \frac{\varepsilon_{tr} \cdot \varepsilon_{op} \cdot c_0 \cdot \left( \left( \frac{T_{tr}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_u}{100} \right)^4 \right)}{(t_{tr} - t_u)} \approx \frac{\varepsilon_{tr} \cdot c_0 \cdot \left( \left( \frac{T_{tr}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_i}{100} \right)^4 \right)}{(t_{tr} - t_i)} \quad (7)$$

$c_0$  - součinitel sálání absolutně černého tělesa [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$ ]  $c_0 = 108 \cdot \sigma = 5,67$  [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$ ],

$\sigma$  - Stefan-Boltzmannova konstanta ( $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$ ),

$\varepsilon_{tr}$  - emisivita potrubí (pro standardní nátěry se pohybuje od  $0,92$  do  $0,94$ ) [-],

T - absolutní teplota [K].

Dále jsou uvedeny tabulky pro směrné hodnoty tepelného výkonu neizolovaného potrubí vztažené na 1 m délky (tabulky 2.2 a 2.3). Tabulky platí pro vnitřní výpočtovou teplotu 20 °C. V případě potřeby výpočtu pro jinou vnitřní teplotu vzduchu, nestandardní průměry nebo emisivitu potrubí či okolních ploch je možné použít předchozích vztahů.

Tab. 2.2 - Směrné hodnoty tepelného výkonu pro vertikální potrubí vztažené na 1 m délky potrubí (viz příloha č. 2 vyhlášky č. 193/2007 Sb.)

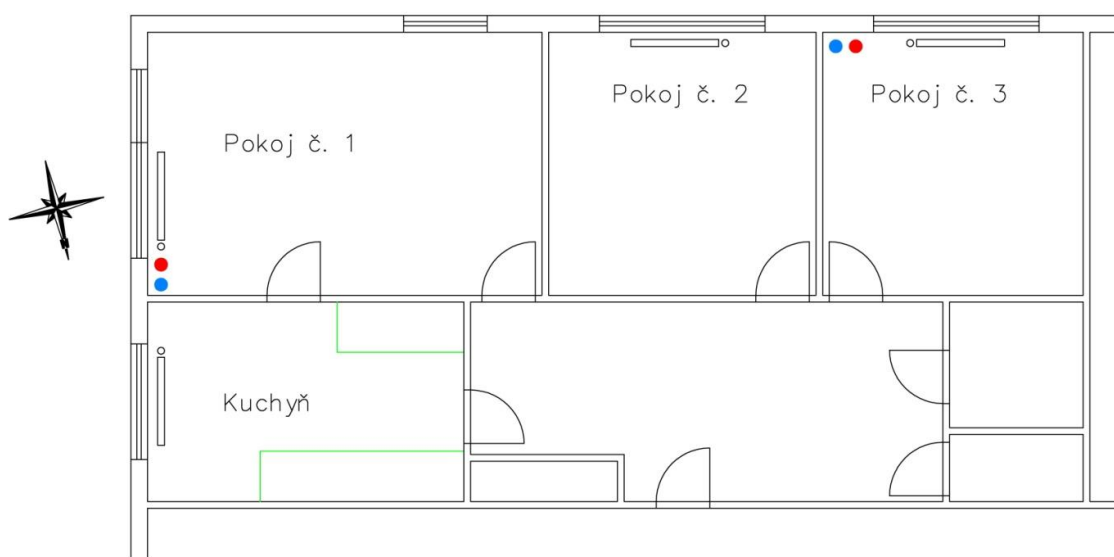
| Průměr potrubí [DN] | Vnitřní teplota [°C] | Teplota vody v potrubí [°C]               |     |     |     |     |    |    |
|---------------------|----------------------|---|-----|-----|-----|-----|----|----|
|                     |                      | 90  | 85  | 80  | 75  | 70  | 65 | 60 |
|                     |                      | Tepelný výkon neizolovaného potrubí [W/m] |     |     |     |     |    |    |
| 10                  | 20                   | 45  | 40  | 35  | 30  | 30  | 25 | 20 |
| 15                  | 20                   | 60  | 50  | 45  | 40  | 35  | 30 | 30 |
| 20                  | 20                   | 70  | 65  | 60  | 50  | 45  | 40 | 35 |
| 25                  | 20                   | 90  | 80  | 70  | 65  | 55  | 50 | 40 |
| 32                  | 20                   | 110                                       | 100 | 90  | 80  | 70  | 60 | 55 |
| 40                  | 20                   | 125                                       | 115 | 100 | 90  | 80  | 70 | 60 |
| 50                  | 20                   | 150                                       | 140 | 120 | 110 | 100 | 85 | 75 |

Tab. 2.3 - Směrné hodnoty tepelného výkonu pro horizontální potrubí vztažené na 1 m délky potrubí

| Průměr potrubí [DN] | Vnitřní teplota [°C] | Teplota vody v potrubí [°C]               |     |    |    |    |    |    |
|---------------------|----------------------|---|-----|----|----|----|----|----|
|                     |                      | 90  | 85  | 80 | 75 | 70 | 65 | 60 |
|                     |                      | Tepelný výkon neizolovaného potrubí [W/m] |     |    |    |    |    |    |
| 10                  | 20                   | 35  | 30  | 30 | 25 | 25 | 20 | 15 |
| 15                  | 20                   | 45  | 40  | 35 | 30 | 30 | 25 | 20 |
| 20                  | 20                   | 55  | 50  | 45 | 40 | 35 | 30 | 25 |
| 25                  | 20                   | 70  | 60  | 55 | 50 | 45 | 40 | 30 |
| 32                  | 20                   | 85  | 75  | 70 | 60 | 55 | 50 | 40 |
| 40                  | 20                   | 95  | 85  | 80 | 70 | 60 | 55 | 50 |
| 50                  | 20                   | 115                                       | 105 | 90 | 85 | 75 | 65 | 55 |

**Příklad výpočtu tepelných zisků u bytu 3+1 v bytové zástavbě:**

Úkolem příkladu je porovnat tepelné zisky neizolovaného potrubí, vertikálních přírodních a vratných větví otopné soustavy v bytě o dispozici 3+1 a podlahové ploše 84,2 m<sup>2</sup>. Dispozice bytu společně s otopnými tělesy a otopnou soustavou je znázorněna na obr. 8. Přírodní i vratné potrubí otopné soustavy umístěné v bytě má dimenzi DN 25. Vnitřní výpočtová teplota vzduchu je 20 °C ve všech obytných místnostech. Teplota vody v přírodním potrubí je 75 °C, ve vratném potrubí 60 °C. Bytový dům je z roku 1984 a jeho konstrukce má původní tepelně technické vlastnosti.



Obr. 2.2 - Dispozice řešeného bytu

Dle obrázku 2.2 jsou v řešeném bytě dvě vertikální neizolovaná potrubí. Pokud budeme uvažovat výšku podlaží 2,6 m, pak pro Pokoj č.1 a Pokoj č. 3 můžeme z tabulky 2.2 odečíst tepelný zisk:

$$Q = 2,6 \cdot 65 + 20,6 \cdot 40 = 273 \text{ W} \quad (8)$$

V případě tepelné ztráty Pokoje č. 1 a také Pokoje č. 3 je nutné při výpočtu od tepelné ztráty prostupem a větrání odečíst tepelný zisk neizolovaného potrubí ve výši 273 W. Při původních tepelně technických vlastnostech z roku 1984 se u Pokoje č. 1 jednalo o tepelnou ztrátu ve výši  $1400 - 273 = 1127 \text{ W}$  a u Pokoje č. 2 o  $750 - 273 = 477 \text{ W}$ .

Po rekonstrukci bytového domu (zateplení fasády domu a výměna oken) je nově vypočtená tepelná ztráta Pokoje č. 1  $\Rightarrow 480 \text{ W}$  a Pokoje č. 2 dokonce pouze  $\Rightarrow 180 \text{ W}$ .

Tento výsledek znamená při zachování původního teplotního spádu výrazný problém. U Pokoje č. 3 tak dochází k trvalému přetápění, které uživatel nemá šanci jakýmkoli způsobem regulovat. Tento důsledek je velmi často v projektech pro zateplení bytových domů opomíjen a jeho důsledky mají fatální dopady na tepelnou pohodu v domě.

Nedílnou součástí projektu pro zateplení stávajících budov tak musí být přepočítání otopné soustavy na nové podmínky tepelných ztrát a výpočet nového teplotního spádu pro stávající otopné plochy v domě. Tato problematika není dále ve výpočtech zahrnuta, neboť základní úprava teplotního spádu otopné soustavy v posuzovaných objektech byla provedena a k výše popsanému jevu by tak nemělo docházet. Pro další použití dále uváděných výpočtových modelů zejména pro bytové objekty by tato možnost měla být zahrnuta.

## 2.1 Denostupňová metoda

Při vytápění se obvykle zjišťuje roční potřeba tepla, tj. potřeba za otopné období  $d$  [dny]. Teoretická potřeba při nepřerušovaném vytápění se pak vypočítá ze vztahu

$$Q_{VYT,teor} = 24 \cdot 3600 \cdot Q_c \cdot \frac{d \cdot (t_{is} - t_{es})}{(t_{is} - t_{ev})} \cdot \varepsilon \quad (9)$$

- $Q_{VYT,teor}$  - teoretická spotřeba tepla na vytápění [J],
- $Q_c$  - celková tepelná ztráta objektu [W],
- $d$  - počet dnů tepleného období [dny],
- $t_{is}$  - průměrná vnitřní teplota objektu [°C],
- $t_{es}$  - průměrná venkovní teplota za otopné období [°C],
- $t_{ev}$  - oblastní výpočtová teplota [°C],
- $\varepsilon$  - opravný součinitel [-].

Opravný součinitel  $\varepsilon$  vyjadřuje vliv nesoučasnosti přírážek pro výpočet tepelné ztráty  $Q_c$  na zmenšení skutečného otopného příkonu. Přibližně platí:

$$\varepsilon = \frac{Q_p}{Q_c} \quad (10)$$

kde  $Q_p$  [W] je základní tepelná ztráta prostupem tepla stěnami. Za normálních okolností je  $\varepsilon = 0,60$  až  $0,85$ .

Součin  $d \cdot (t_{is} - t_{es}) = D$  je tzv. počet denostupňů  $D$  [den  $\cdot$   $^{\circ}\text{C}$ ]. Rovnici (9) proto lze také psát ve tvaru:

$$Q_{VYT,teor} = 24 \cdot 3600 \cdot Q_c \cdot \frac{D}{(t_{is} - t_{ev})} \cdot \varepsilon \quad (11)$$

Při přerušovaném vytápění je nutné přihlížet ke snížení průměrné vnitřní teploty  $t_{is}$  pod hodnotu výpočtovou  $t_i$  a nevytápí-li se každý den (např. v případech se sobotní a nedělní přestávkou), také ke zmenšení počtu otopných dnů. Teoretická potřeba tepla se v tomto případě počítá ze vztahu:

$$Q_{VYT,teor} = 24 \cdot 3600 \cdot Q_c \cdot \frac{D}{(t_{is} - t_{ev})} \cdot \varepsilon \cdot e \quad (12)$$

kde  $e = e_t \cdot e_d$  je opravný součinitel na snížení vnitřní teploty  $e_t$  a na zkrácení doby provozu vytápění  $e_d$ .

Opravný součinitel na snížení vnitřní teploty je možné vypočítat podle vzorečku:

$$e_t = \frac{(t_{is} - t_{es})}{(t_i - t_{es})} \quad (13)$$

Nebo je možné si jej zvolit:

- nemocnice  $e_t = 1,0$
- obytné budovy s nepřerušovaným vytápěním  $e_t = 1,0$
- obytné budovy s nočním přerušením vytápění  $e_t = 0,90$
- správní budovy, obchody – stavba s velkou akumulací  $e_t = 0,90$

- správní budovy, obchody – stavba s malou akumulací  $e_t = 0,85$
- školy – s celodenním vyučováním  $e_t = 0,85$
- školy – s polodenním vyučováním  $e_t = 0,80$

Opravný součinitel na zkrácení doby provozu vytápění je možné vypočíst dle vztahu:

$$e_d = \frac{d^*}{d} \quad (14)$$

Nebo je rovněž možné si jej zvolit ( $d^*$  je počet dnů zkráceného provozu vytápění):

- trvale vytápěné budovy (nemocnice, obytné domy atd.)  $e_d = 1,0$
- budovy s jednodenním (nedělním) klidem  $e_d = 0,9$
- budovy s dvou denním (sobotní a nedělní) klidem  $e_d = 0,8$
- školy  $e_d = 0,7$

Roční skutečná potřeba tepla pro vytápění je hodnota, která je navýšena o tepelnou ztrátu při výrobě tepla, ztrátu rozvodů tepla a o regulaci otopné soustavy se vypočte jako

$$Q_{VYT,skut} = \frac{Q_{VYT,teor}}{\eta_K \cdot \eta_R \cdot \eta_O} \quad (15)$$

- $Q_{VYT,skut}$  - skutečná spotřeba tepla na vytápění dle denostupňové metody [J],
- $\eta_R$  - účinnost rozvodu tepelné energie (pro nás výměňiková stanice) [-],
- $\eta_O$  - účinnost obsluhy (pro nás regulace) [-],
- $\eta_K$  - účinnost zdroje tepla (pro nás výměňiková stanice) [-].

Účinnost zdroje tepla pro ústřední vytápění se volí následovně:

|                                  |                           |
|----------------------------------|---------------------------|
| kotle na tuhá paliva             | $\eta_K = 0,67$ až $0,75$ |
| kotle na plynná a kapalná paliva | $\eta_K = 0,82$ až $0,96$ |
| výměníkové stanice               | $\eta_K = 0,92$ až $0,99$ |

Účinnost tepelného rozvodu  $\eta_R$  energie zahrnuje kvalitu tepelné izolace rozvodů tepla a způsob rozvodu potrubní sítě (nevytápěné prostory, apod.), bývá v rozmezí od 0,95 do 0,98. [4]. Tuto účinnost ovlivňuje plnění požadavků dle vyhlášky č. 193/2007 [10], která předepisuje tepelné izolace rozvodů tepelné energie a vnitřních rozvodů chladu. Tepelná izolace u vnitřních rozvodů s teplonosnou látkou do 115 °C se navrhuje tak, že její povrchová teplota je o méně než 20 vyšší oproti teplotě okolí a u vnitřních rozvodů s teplonosnou látkou nad 115°C o méně než 25 K oproti teplotě okolí, není-li na základě § 5 odst. 4 stanoveno jinak. Minimální tloušťka tepelné izolace armatur se volí stejná jako u potrubí téhož jmenovitého průměru.

Účinnost obsluhy  $\eta_O$  zahrnuje způsob regulace objektu (zónová, ekvitermní, zátěžová, atd.) a bývá v rozmezí od 0,9 (kotle na tuhá paliva) do 0,99 (např. plynový kotel + objekt rozdělen na zóny).

Zdroje tepelné energie, které zajišťují vytápění ústřední, bytové individuální a lokální, se vybavují automatickou regulací umožňující centrálně snížit či odstavit dodávku tepelné energie, stejně jako zapnout a vypnout elektrická zařízení zajišťující dopravu tepelné energie v závislosti na venkovní teplotě nebo jiné určující veličině. Volba druhu regulace upřednostňuje požadavek maximálních úspor tepelné energie. Požadavek se nevztahuje na násypné kotle na tuhá paliva.



## 2.2 ČSN EN ISO 13 790

Potřebu tepla na vytápění budovy  $Q_{skut}$  [kWh] vypočteme bilancováním tepelných ztrát a využitelných tepelných zisků vytápěné zóny v každém časovém kroku výpočtu, kterým je pro nás měsíc.

### Potřeba tepla na vytápění

$$Q_{skut} = Q_c - \eta_g \cdot Q_{zisk} \quad (16)$$

$Q_{skut}$  - skutečná potřeba tepla na vytápění dle [kWh],

$\eta_g$  - faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění [-],

$Q_{zisk}$  - celkové tepelné zisky vytápěné zóny [kWh],

$Q_c$  - celková tepelná ztráta vytápěné zóny [kWh].

### Tepelné ztráty

Celková tepelná ztráta vytápěné zóny  $Q_c$  [kWh] se vypočte jako součet tepelných ztrát prostupem a větráním

$$Q_c = Q_p + Q_v \quad (17)$$

$Q_p$  - tepelná ztráta prostupem [kWh],

$Q_v$  - tepelná ztráta větráním [kWh].

Tepelná ztráta prostupem  $Q_p$  [kWh] se počítá ze vztahu

$$Q_p = H_p \cdot (t_i - t_{es}) \cdot t \quad (18)$$

Stejně schéma platí pro tepelnou ztrátu větráním

$$Q_v = H_v \cdot (t_i - t_{es}) \cdot t \quad (19)$$

$H_p$  - měrný tepelný tok prostupem [W/K],

$H_v$  - měrný tepelný tok větráním [W/K],

- $t_i$  - požadovaná vnitřní teplota vytápěné zóny [°C],  
 $t_{es}$  - teplota venkovního prostředí v daném časovém kroku [°C],  
 $t$  - délka kroku výpočtu [h].

Pro měrný tepelný tok prostupem  $H_p$  [W/K] obecně platí vztah

$$H_p = \sum_j A_j \cdot U_j + \sum_k l_k \cdot \psi_k \quad (20)$$

- $A_j$  - plocha konstrukce [m<sup>2</sup>],  
 $U_j$  - součinitel prostupu tepla [W/m<sup>2</sup>.K],  
 $l_k$  - délka tepelného mostu [m],  
 $\psi_k$  - tepelné mosty [W/m.K].

Do rovnice (2.12) dosazujeme vždy ty konstrukce, které oddělují vnitřní prostředí od prostředí, ke kterému se váže daný teplotní rozdíl. Jednou to budou konstrukce na styku s venkovním vzduchem, podruhé konstrukce oddělující hodnocenou místnost od okolních místností. Plochy konstrukcí budeme zadávat z vnějších rozměrů, které je nutné dopočítat na základě popisu dané konstrukce a předpokládané tloušťky této konstrukce [5].

Tepelná ztráta větráním se stanovuje z přiváděného množství vzduchu  $V$  (m<sup>3</sup>/h). Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním představuje určující množství vzduchu a jeho vlastnosti vyjádřené hustotou vzduchu  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] při  $H_{int,i}$  a měrnou tepelnou kapacitou vzduchu  $c_a$ . Pro měrný tepelný tok větráním  $H_v$  [W/K] platí

$$H_v = \rho_a \cdot c_a \cdot V_a \quad (21)$$

- $\rho_a$  - hustota vzduchu [kg/m<sup>3</sup>],  
 $c_a$  - měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kg.K],  
 $V_a$  - průměrný objemový tok větracího vzduchu [m<sup>3</sup>/h].

Průměrný objemový tok větracího vzduchu  $V_a$  [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] je v případě přirozeného větrání roven průměrnému návrhovému objemovému toku větracího vzduchu  $V_{a,d}$  [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$$V_{a,d} = n \cdot V_{obj} \quad (22)$$

$n$  - násobnost výměny vnitřního vzduchu [ $1/\text{h}$ ],

$V_{obj}$  - objem vnitřního vzduchu [ $\text{m}^3$ ].

Pro obytné místnosti obvykle počítáme  $n = 0,5$   $1/\text{h}$  (jedná se o průměrnou hodnotu za delší časové období).

### Využitelné tepelné zisky

Celkové tepelné zisky vytápěné zóny  $Q_{zisk}$  [ $\text{kWh}$ ] vypočteme jako součet vnitřních a solárních tepelných zisků

$$Q_{zisk} = Q_{int} + Q_{sol} \quad (23)$$

$Q_{int}$  - vnitřní tepelné zisky [ $\text{kWh}$ ],

$Q_{sol}$  - solární tepelné zisky [ $\text{kWh}$ ].

Vnitřní tepelné zisky  $Q_{int}$  [ $\text{kWh}$ ] jsou součtem zisků od obyvatel, přístrojů, osvětlení, z procesů atd. za určitou délku kroku. Vnitřní tepelné zisky jsou vypočteny podle navrženého obsazení. Tepelný zisk od jedné osoby je  $100$   $\text{W}$ . Tepelný zisk propuštěný z prostoru je uvažován  $100$   $\text{W} / \text{byt}$ .

$$Q_{int} = Q_{int,p} \cdot t \quad (24)$$

$Q_{int,p}$  - průměrný výkon vnitřních zisků [ $\text{kWh}$ ],

$t$  - délka kroku výpočtu [ $\text{h}$ ].

$$Q_{int,p} = \frac{100 \cdot k \cdot 12 + 100 \cdot 24}{24} \quad (25)$$

k - počet osob [-].

Solární tepelné zisky  $Q_{sol}$  [kWh] se vypočítávají jako součet příspěvků jednotlivých oken pro každou orientaci, tedy

$$Q_{sol} = \sum_j H_j \sum_n A_{s,n,j} \quad (26)$$

$H_j$  - měsíční dávka ozáření pro j-tou orientaci [kWh/m<sup>2</sup>],

$A_{s,n,j}$  - je účinná solární sběrná plocha n-tého transparentního prvku s j-tou orientací [m<sup>2</sup>].

Účinnou solární sběrnou plochu  $A_s$  [m<sup>2</sup>] transparentního prvku lze stanovit ze vztahu

$$A_s = A_w \cdot g_{\perp} \cdot F_w \cdot F_f \cdot F_c \cdot F_s \quad (27)$$

$A_w$  - plocha prvku [m<sup>2</sup>],

$g_{\perp}$  - energetická propustnost zasklení [-],

$F_w$  - korekční činitel pro zvýšené ztráty odrazem při větších úhlech dopadu slunečního záření [-],

$F_f$  - korekční činitel rámu [-],

$F_c$  - korekční činitel clonění [-],

$F_s$  - korekční činitel stínění [-].

Korekční činitel stínění, pro který platí:

$$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_t \quad (28)$$

$F_h$  - činitel stínění horizontem [-],

$F_o$  - činitel stínění markýzou [-],

$F_t$  - činitel stínění bočními žebry [-].

Faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění  $\eta_g$  [-] se vypočítá

$$\eta_g = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad (29)$$

kde  $\gamma$  [-] je poměr tepelných zisků  $Q_c$  [kWh] a tepelných ztrát  $Q_{c,m}$  [kWh] v daném měsíci.

$$\gamma = \frac{Q_c}{Q_{c,m}} \quad (30)$$

$a$  [-] je číselný parametr, pro který platí vztah

$$a = 1 + \frac{\tau}{15} \quad (31)$$

Člen  $\tau$  [h] představuje časovou konstantu vytápěné zóny budovy

$$\tau = \frac{C_m / 3600}{H_p + H_v} \quad (32)$$

$C_m$  - účinná vnitřní tepelná kapacita zóny a  $H_p + H_v$  [W/K] je součet měrných tepelných toků prostupem a větráním.

### 3 Výměníkové stanice ("VS")

Předávání od zdroje tepla z výtopny či teplárny, do otopné soustavy pro ústřední vytápění („ÚT“), nebo pro přípravu teplé vody („TUV“) a také pro vzduchotechnická zařízení („VZT“). Mezi těmito principy se dá libovolně kombinovat. Výměníkové stanice se rozdělují na tlakově závislé nebo tlakově nezávislé. Dalším kritériem rozdělení může být teplotná látka voda/pára o různých teplotách.

Řešení a výběr vhodného systému je ovlivněn dvěma parametry:

- teplotou zpětné vody;
- tlakovými podmínkami v místě napojení odběratele v závislosti na konstrukčním provedení spotřebičů.

Jako zdroje tepla se v soustavách centrálního zásobování teplem („CZT“) nejčastěji používají teplotní spády:

- okrskové výtopny – 110/70 °C;
- průmyslové výtopny – 130/70 °C;
- teplárny – 120/70; 130/70; 150/70 °C.

Jedním z důležitých požadavků na bezporuchový provoz kotlů ve výtopnách je, aby teplota media ve zpětném potrubí byla  $t_{m2} \geq 70^\circ\text{C}$ . V teplárenských soustavách se naopak požaduje větší vychlazení  $t_{m2} \leq 70^\circ\text{C}$ .

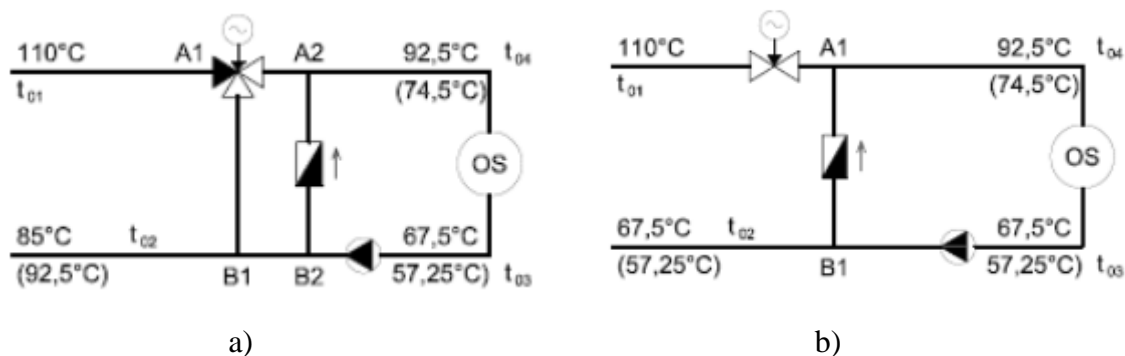
#### Tlakově závislé připojení

Přesná definice by se dala nazvat také jako metoda přímá, beze změn parametrů teplotnosné látky. Z tohoto důvodu je důležité dodržet optimální soulad provozu zdroje sítě a spotřebiče. Používají se proto dva způsoby zapojení:

1. Část přebytečného množství teplotnosné látky přivedené před spotřebič přepouští bez vychlazení zpět do vratného potrubí primárního okruhu. Teplota zpětného

potrubí stoupá, což vyhovuje ve výtopenských soustavách, ale nevyhovuje v soustavách teplotních;

- Omezení množství dodávaného tepla škrcením přívodu primárního okruhu a tím také dodávaného množství teplotní látky. Teplota zpětného potrubí primárního okruhu se rovná teplotě zpátečního potrubí sekundárního okruhu a při regulačním zásahu se jeho teplota ještě sníží, což vyhovuje provozu teplařen.



- Obr. 3.1 - Schéma zapojení s trojcestným rozdělovacím ventilem v přívodu (1. způsob)
- Obr. 3.2 - Schéma zapojení s regulačním ventilem v přívodu (2. způsob)

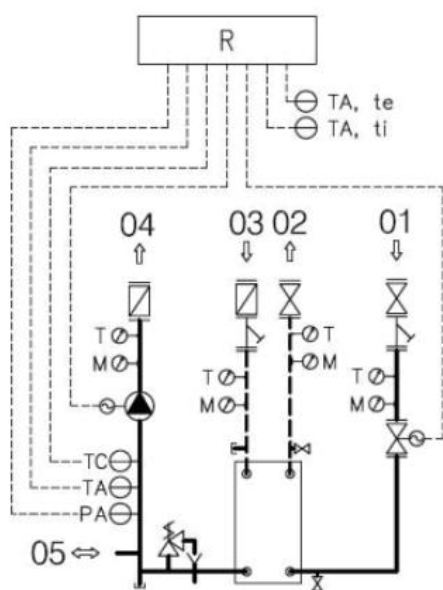
### Tlakově nezávislé připojení

Výměníkové stanice navrhujeme tam, kde teplota, tlak, případně tlaková diference teplotní látky na ohřívací straně (tj. na primární straně), neodpovídá požadavkům na dodávku tepla do odběrného zařízení (sekundární straně). Tlakově nezávislý způsob zapojení se realizuje pomocí zapojení výměníku tepla do okruhu. Používá se v soustavách kde je primární otopnou látkou jak voda, tak pára. Zdrojem tepla může být teplotna, ale také výtopna. Způsob regulace výkonu musí být v souladu s požadavkem hospodárného provozu.

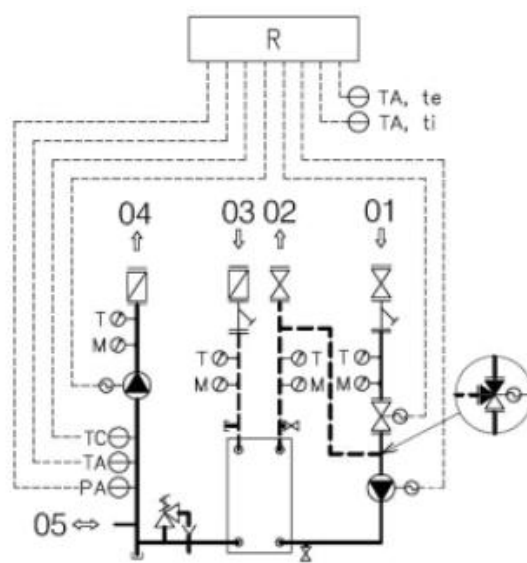
Způsoby regulace:

- regulace škrcením přímým ventilem
  - snižování teploty zpětné vody v primárním okruhu;

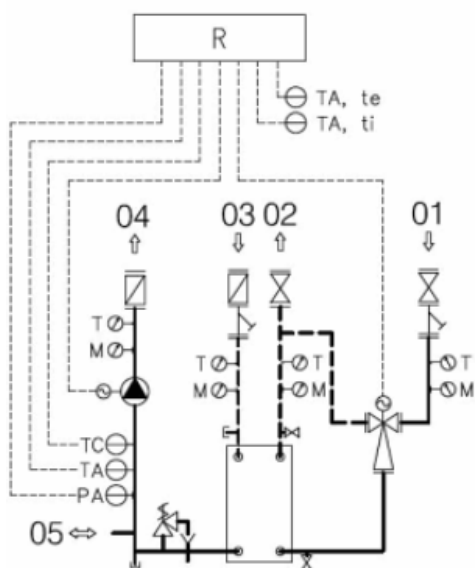
- regulace směšovací čerpadlem
  - snižování teploty zpětné vody v primárním okruhu,
  - zvyšování teploty zpětné vody v primárním okruhu;
- regulace ejektorem
  - snižování teploty zpětné vody v primárním okruhu.



a)



b)



c)

- a) Obr. 3.3 - Připojení výměňkového bloku  
- regulace výkonu škrcením přímým ventilem
- b) Obr. 3.4 - Připojení výměňkového bloku  
- regulace směšovacím čerpadlem - s přímým nebo směšovacím ventilem
- c) Obr. 3.5 - Připojení výměňkového bloku  
- regulace ejektorem [6]



### Stanovení výkonu výměňkové stanice

VS navrhujeme tam, kde teplotná látka, teplota a tlak, popřípadě tlaková diference  $\Delta p$  ohřívací strany neodpovídají požadavkům na dodávku tepla do odběratelského zařízení. Základním požadavkem je, aby přírodní teplota ohřívací látky byla vyšší než požadovaná teplota ohřívání látky v odběratelské soustavě. Výkon jednotlivých částí VS je stanoven z tepelné bilance zásobovaného okruhu, popřípadě z požadavků na dodávku tepla do odběratelského zařízení. Příkon ohřívací strany je dán větší přípojnou hodnotou stanovenou následujícími vztahy, kde všechny veličiny jsou v (kWh),

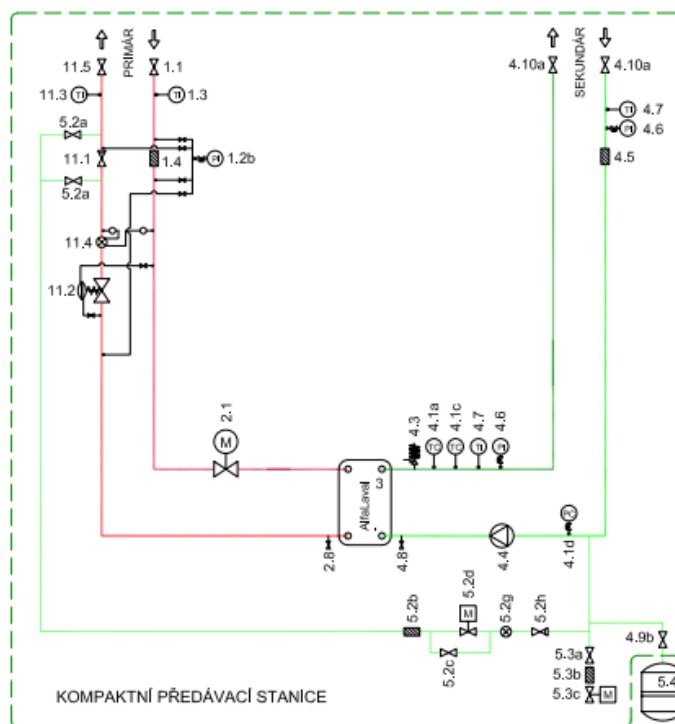
$$Q_1 = 0,8 \cdot (Q_{TOP} + Q_{VZD}) + Q_{TECH} + Q_{TV} \quad (33)$$

$$Q_2 = Q_{TOP} + Q_{VZD} + Q_{TECH} \quad (34)$$

- $Q_1$  - přípojná hodnota podle podle provozní špičky I [kWh],
- $Q_2$  - přípojná hodnota podle podle provozní špičky II [kWh],
- $Q_{TOP}$  - největší tepelný výkon pro vytápění [kWh],
- $Q_{VZD}$  - největší tepelný výkon pro vzduchotechniku [kWh],
- $Q_{TV}$  - normový tepelný výkon pro ohřev vody [kWh],
- $Q_{TEC}$  - tepelný výkon ostatní, např. pro technologické účely [kWh].

Pro určování  $Q_{TOP}$ ,  $Q_{VZD}$  a  $Q_{TV}$  se vychází z reálných hodnot a přihlíží se ke stavebnímu provedení budov zásobovaných z VS. Výměníky tepla ve VS se navrhují maximálně na výkon odběratelského zařízení. Do výkonu 250 kW se doporučuje používat pouze jeden výměník. Od výkonu 250 kW výše se doporučuje používat dva výměníky, každý na 50 % výkonu odběratelské soustavy. Při velkých výkonech nad 1 MW je nutno navrhnout vždy dva výměníky, každý na 50 % výkonu, popřípadě i tři výměníky, každý o výkonu 33 % odběratelské soustavy [11].

## Schéma tlakově nezávislé kompaktní předávací stanice pro vytápění:



obr. 3.6 – schéma tlakově nezávislé kompaktní předávací stanice pro vytápění

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| Primární okruh   | 4.8 Uzavírací armatura              |
| 1.1 Uzavírací armatura                                   | 4.9b Uzavírací armatura             |
| 1.2b Manometrová souprava                                | 4.10a Uzavírací armatura            |
| 1.3 Teploměr   | System udržování sekundárního tlaku |
| 1.4 Filtř  | 5.2a Uzavírací armatura             |
| 11.1 Zpětná klapka                                       | 5.2b Filtř                          |
| 11.2 Regulátor tlakové diference                         | 5.2c Uzavírací armatura             |
| 11.3 Teploměr  | 5.2d Solenoidový ventil             |
| 11.4 Měřič tepla   | 5.2g Vodoměr dopouštění             |
| 11.5 Uzavírací armatura                                  | 5.2h Zpětná klapka                  |
| Sekundární okruh ÚT - výměník tepla<br>a regulační prvky | 5.3a Uzavírací armatura             |
| 2.1 Regulační ventil                                     | 5.3b Filtř                          |
| 2.8 Uzavírací armatura vypouštěcí                        | 5.3c Solenoidový ventil             |
| 3 Výměník tepla s izolací                                | 5.4 Expanzní nádoba                 |
| 4.1a Snímač teploty                                      | Sekundární okruh                    |
| 4.1c Termostat   | 4.4 Oběhové čerpadlo                |
| 4.1d Snímač tlaku / manostat                             | 4.5 Filtř                           |
| 4.3 Pojistný ventil                                      | 4.6 Manometr                        |
| 4.6 Manometr   | 4.7 Teploměr                        |
| 4.7 Teploměr   |                                     |

### **Primární část**

Přes uzavírací armaturu vstupuje primární médium do technologie předávací stanice. Filtr zabraňuje vniknutí mechanických nečistot do předávací stanice. Parametry primárního média lze měřit manometrem a teploměrem. Souprava na měření tlaku umožňuje měření tlaku v různých místech primárního okruhu pomocí jednoho manometru. Lze měřit tlak na přívodním a zpětném potrubí, tlakovou ztrátu resp. zanesení filtru, tlakové nastavení regulátoru diferenčního tlaku. Tímto způsobem je eliminován počet a vlastní chyba manometrů.

Ventil s pohonem zajišťuje regulaci parametrů ÚT podle čidla venkovní teploty (není vždy osazeno) a teplotního čidla. Předání tepla je prováděno v deskových (nebo skládaných, trubkových) výměnících. Výměníky lze uzavřít pomocí armatur (nejsou vždy osazeny). Na zpětném potrubí primárního okruhu je osazen vypouštěcí ventil a regulátor diferenčního tlaku (není vždy osazen). Dále je na potrubí možno osadit fakturační měřič tepla. Havarijní uzavření zpětného potrubí primárního okruhu zajišťuje zpětná klapka. Teplota tohoto okruhu je měřena teploměrem. Primární okruh je ukončen ruční uzavírací armaturou.

### **Okruh ÚT**

Primární médium je zavedeno do deskového (nebo skládaného, trubkového) výměníku, kde ohřívá vstupující vratnou vodu ÚT. Teplota vody v rozvodech ÚT je regulována dvoucestným regulačním ventilem s elektropohonem. Pohony jsou standardně navrhovány s havarijní funkcí, tzn. při vzniku situace, kterou řídicí systém vyhodnotí jako havarijní, dojde k automatickému uzavření ventilu.

Topná voda z okruhu ÚT vstupuje do výměníkové stanice přes uzavírací armaturu. Teplota je měřena pomocí teploměru. Filtr zabraňuje vniknutí mechanických nečistot do technologie předávací stanice. Výměník lze uzavřít pomocí armatur (nejsou vždy osazeny). Na výstupu z výměníku je umístěn pojistný ventil, regulační čidlo teploty a havarijní čidlo teploty (není vždy osazeno). Havarijní čidlo signalizuje havarijní stav při překročení teploty.

Nucený oběh topné vody ve vytápěném objektu je zajištěn jedním, případně sestavou čerpadel. Okolo čerpadla je možno osadit uzavírací armaturu a zpětnou klapku. Tyto armatury jsou nutné v případě instalace vyššího počtu čerpadel. Teplota a tlak topné vody vstupující do domovních rozvodů ÚT jsou měřeny teploměrem a manometrem. Okruh ÚT je ukončen uzavírací armaturou.

Souprava pro automatické dopouštění a odpouštění zajišťuje udržování tlaku v okruhu ÚT na požadované úrovni. Expanzní nádoba může být navržena v kombinaci se soupravou pro vyrovnávání špičkových změn objemu, nebo samostatně pro 100% pokrytí objemových změn vlivem teploty v okruhu ÚT. Dopouštění a odpouštění je realizováno pomocí solenoidových ventilů (otevívá a zavírá řídicí systém na základě tlakového čidla). Pro zajištění jejich spolehlivé funkčnosti jsou před každým z nich umístěny jemné filtry. Dále je zde ventil, který slouží k ručnímu napouštění okruhu ÚT. Zpětná klapka zabraňuje vypuštění okruhu ÚT v případě nízkého tlaku na primární straně. Množství dopuštěné vody je měřeno vodoměrem. Pro kontrolu tlaku v expanzní nádobě je osazena uzavírací armatura s vypouštěním [7].

## 4 Popis posuzovaných objektů

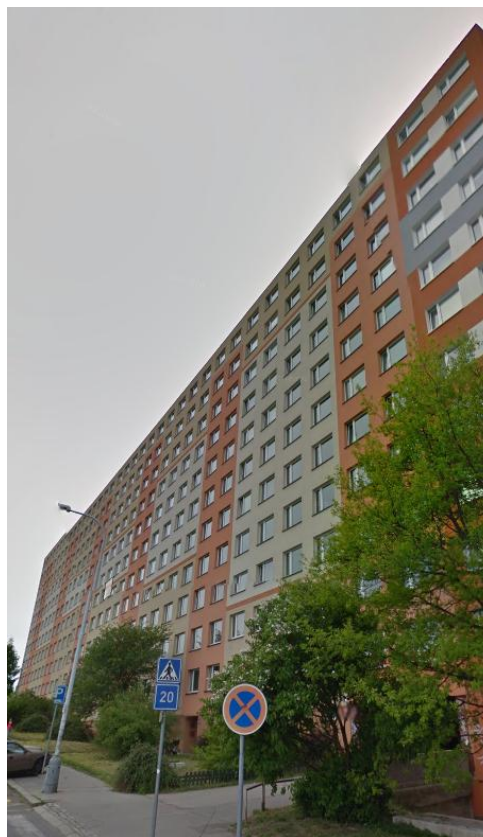
Všechny posuzované objekty, které jsou v diplomové práci dále popsány, nemají systém nuceného větrání. Režim větrání je řešen otevíráním oken a to individuálně dle potřeb uživatele bytu. Tepelná ztráta větráním (dle údajů v projektu) je vypočtena na základě intenzity větrání  $0,5 \text{ h}^{-1}$ .

### 4.1 Objekt Brdičkova 1916-1921

Objekt se nachází ve městě Praha, na adrese: Brdičkova 1916-1921, jedná se o starší stavbu postavenou v 90. letech. Posuzovaný Objekt 2 je součástí panelákového systému, který byl v daných letech velmi rozšířený.



Obr. 4.1 - Pohled z horní perspektivy



Obr. 4.2 - Pohled z ulice

Na Obr. 4.2 - pohled z ulice je zobrazen pohled na východní stranu objektu. V objektu je celkem 180 bytových jednotek rozdělených do 11 podlaží. V objektu v současné době bydlí 540 osob a jsou obsazeny všechny bytové jednotky.

### Technické vlastnosti objektu Brdičkova 1916-1921

Obvodové stěny průčelí, štítu a bočních lodžiových panelů odpovídají panelové soustavě VVÚ-ETA. Panely jsou sendvičové železobetonové tloušťky 240 mm v průčelí a tloušťky 290 mm ve štítech. Boční lodžiové panely jsou tloušťky 330 mm. Tepelnou izolací jsou desky pěnového polystyrenu tloušťky 80 mm. Vnější železobetonová vrstva je tloušťky 60 mm. Obvodové stěny střešních nástaveb jsou železobetonové, rovněž sendvičové, tloušťky 240 mm. Vnitřní nosná železobetonová vrstva je tloušťky 100 mm. Tepelnou izolací jsou desky pěnového polystyrenu tloušťky 80 mm. Vnější železobetonová vrstva je pak tloušťky 60 mm.

Bytový dům je zásobovaný teplem pro vytápění z centrálního zdroje. Předávací stanice Pražské teplárenské a.s. je umístěna v objektu č.p. 1921. Tepelné ztráty byly vypočteny na základě auditu viz tab. 4.1 - Tepelné vlastnosti budovy

*Tab. 4.1 - Tepelné vlastnosti budovy*

|         | Teplená ztráta Q [W] | Měrný tepelný tok H [W/K] |
|---------|----------------------|---------------------------|
| Prostup | 594 635              | 10 568                    |
| Větrání | 198 211              | 6 215                     |
| Celkem  | 792 846              | 16 783                    |

## 4.2 Objekt U Velkého rybníka 2210/113

Objekt se nachází ve městě Plzeň, na adrese: U Starého rybníka 2210/113, jedná se o nově postavené bytové jednotky, které byly dokončeny v roce 2012. Z obrázku Obr. 4.3 - Pohled z horní perspektivy je patrné, že objekt je volně stojící.



*Obr. 4.3 - Pohled z horní perspektivy*



*Obr. 4.4 - Pohled z ulice*

Na obr. 4.3 - Pohled z ulice je pohled na jediný hlavní vchod do domu. Jedná se tedy o jedno-vchodový objekt. V objektu je celkem 19 bytových jednotek rozdělených do 5 podlaží. V objektu v současné době bydlí 57 osob a jsou obsazeny všechny bytové jednotky.

### Technické vlastnosti objektu U Velkého rybníka 2210/113

Objekt, i nosná konstrukce obvodových stěn bytového domu, jsou navrženy ze stavebního systému POROTHERM. Tloušťka nosné obvodové stěny je 365 mm + zateplení v tloušťce 80 mm + ušlechtilá omítka. Zdrojem tepla pro vytápění je kompaktní předávací stanice, která je osazena v samostatné místnosti v 1. podzemním podlaží objektu. Primárním médiem bude horkovod z CZT – dodavatel tepla Plzeňská teplárenská, a. s. Předávací stanice bude provedena s možností dálkového snímání a přenosu dat.

Tepelné ztráty byly stanoveny dle ČSN EN ISO 13 790 pro výpočtovou venkovní teplotu na 12 °C a pro krajinu bez intenzivních větrů (B = 8). Teplot vyznačených na výkresech bude dosaženo při současném vytápění všech místností, při teplotě topné vody odpovídající venkovní teplotě a při dodržení tepelně-technických vlastností stavebních konstrukcí daných stavebním projektem. Celková potřeba tepla pro vytápění činí dle vložené otopné plochy 92 kW. Celková potřeba tepla pro ohřev teplé vody („TV“) činí dle podkladů projektanta 60 kW.

Tepelné ztráty dle technické dokumentace jsou zobrazeny v *Tab. 4.2 - Tepelné vlastnosti budovy*

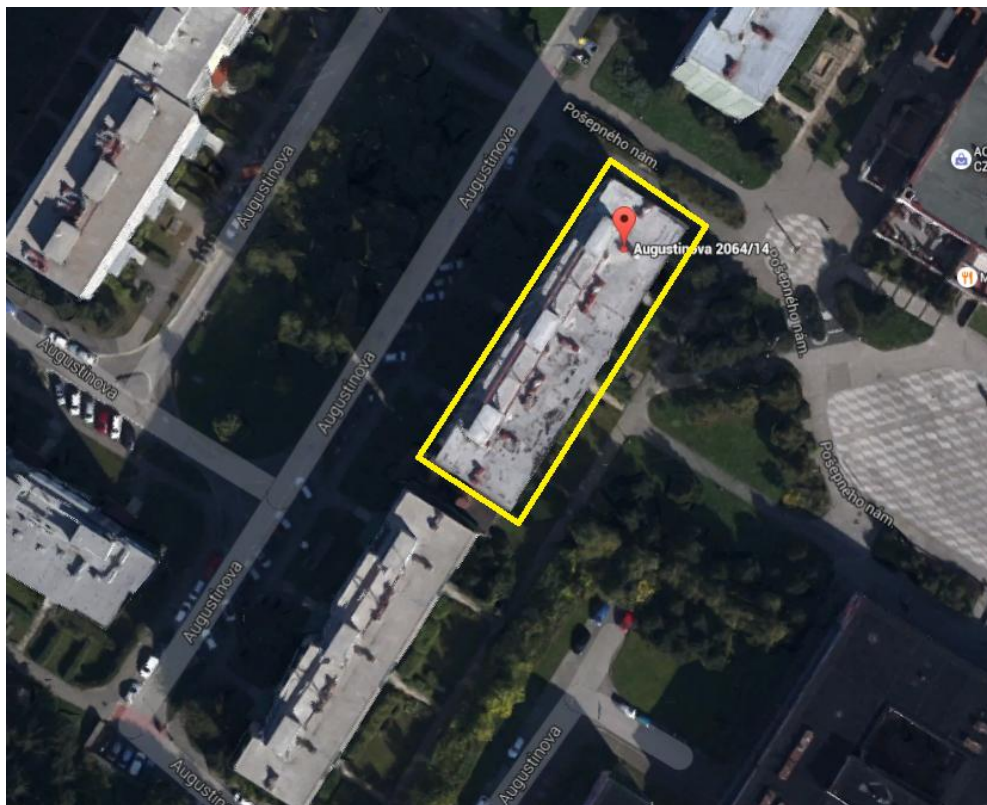
*Tab. 4.2 - Tepelné vlastnosti budovy*

|         | Teplená ztráta Q [W] | Měrný tepelný tok H [W/K] |
|---------|----------------------|---------------------------|
| Prostup | 53 289               | 1 665                     |
| Větrání | 17 989               | 479                       |
| Celkem  | 71 278               | 2 144                     |

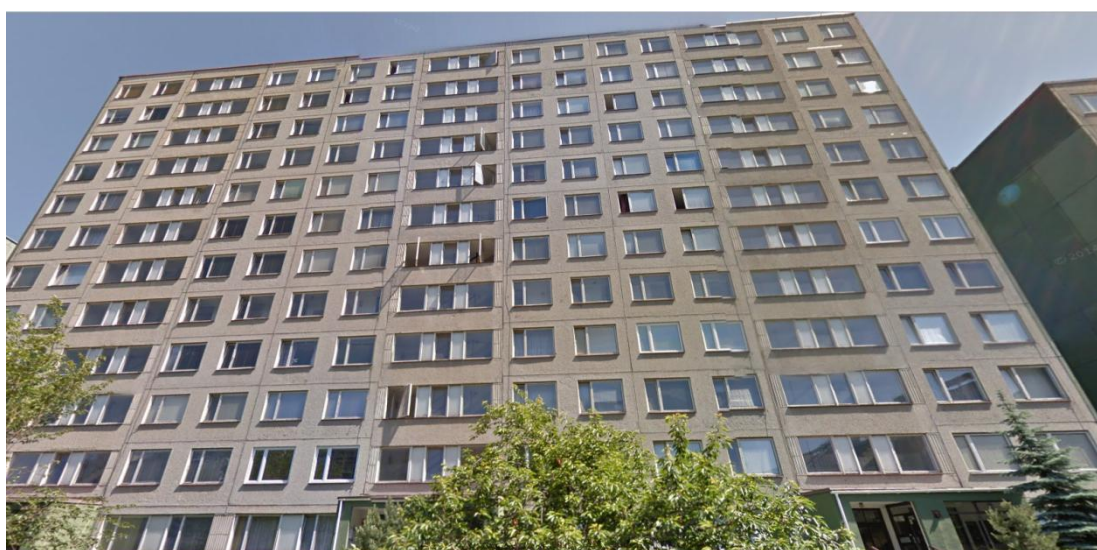


### 4.3 Objekt Augustinova 2064-2066

Objekt se nachází ve městě Praha, na adrese: Augustinova 2064-2066, jedná se o starší stavbu postavenou v 90. letech. Posuzovaný Objekt 3 je volně stojící.



*Obr. 4.5 - Pohled z horní perspektivy*



*Obr. 4.6 - Pohled z ulice*

### Technické vlastnosti objektu Augustinova 2064-2066

Posuzovaný bytový dům stavebního stěnového systému VVÚ - ETA tvoří tři sekce. Budova má celkem 105 bytových jednotek. Objekt má 12 nadzemních bytových podlaží a jedno podlaží technické, částečně pod úrovní přilehlého terénu. Technické podlaží není trvale vytápěné, některé místnosti technického podlaží jsou však vytápěny nárazově.

Obvodové stěny průčelí a štítu odpovídají stavební panelové soustavě VVÚ - ETA. Panely jsou sendvičové železobetonové tloušťky 250 mm v průčelí, tloušťky 300 mm ve štítech a tloušťky 330 mm u bočních lodžiových panelů. Tepelnou izolací jsou desky pěnového polystyrenu o tloušťce 80 mm.

Objekt je zásobovaný teplem z centrálního zdroje. Předávací stanice je umístěna v samostatném přízemním objektu č.p. 2067, přilehlém k jihozápadnímu štítu (zobrazeno na *Obr.4.7*). Tepelné ztráty byly vypočteny na základě auditu viz Tab. 4.3 - Tepelné vlastnosti budovy

*Tab. 4.3 - Tepelné vlastnosti budovy*

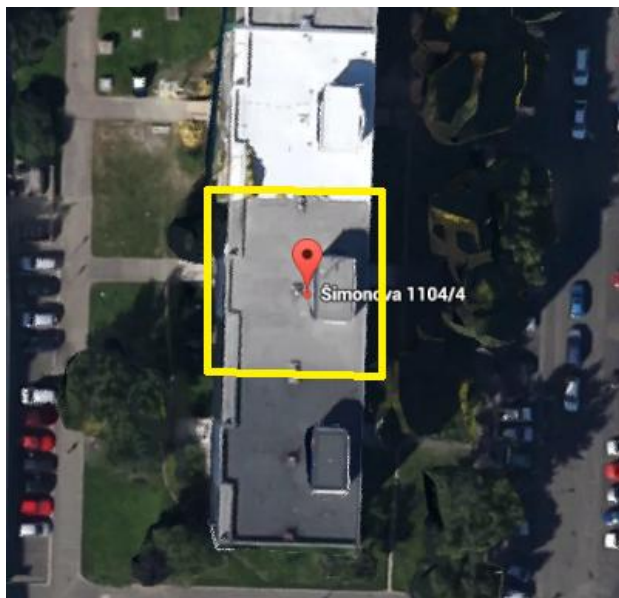
|         | Teplená ztráta Q [W] | Měrný teplený tok H [W/K] |
|---------|----------------------|---------------------------|
| Prostup | 370 947              | 6 565                     |
| Větrání | 123 649              | 4 327                     |
| Celkem  | 494 597              | 10 892                    |



*Obr. 4.7 - Venkovní objekt pro výměňkovou stanici*

#### 4.4 Objekt Šimonova 1104-4

Objekt se nachází ve městě Praha, na adrese: Šimonova 1104-4, jedná se o starší stavbu postavenou v 90. letech. Posuzovaný Objekt 3 je volně stojící.



*Obr. 4.8 - Pohled z horní perspektivi*



*Obr. 4.9 - Pohled z ulice*

### Technické vlastnosti objektu Šimonova 1104-4

Bytový dům byl postaven v konstrukčním panelovém systému VVÚ ETA v roce 1984. Jedná se o deskový dvanáctipodlažní dům, složený ze dvou totožných, konstrukčně samostatných, dilatací oddělených objektů o půdorysném rozměru 54,0 x 14,5 m o třech sekcích á 18,0 x 14,5 m se samostatnými vstupy a propojením spojovacími chodbami v 1. PP, 4. a 8.np. Bytový dům Družstva SD tvoří střední řadovou sekci jižní oddílané části deskového domu o půdorysném rozměru 18,0 x 14,5 m a výšce 37,4 m (modulové rozměry, konstrukční výška podlaží 2,8 m).

Stávající konstrukce železobetonové. Stropy železobetonové stropní panely. Obvodový plášť na východní straně domu z celo stěnových železobetonových sendvičových panelů (100 mm ŽB + 40 mm polystyren + 50 mm ŽB), na západní straně domu z parapetních panelů s meziokenními vložkami z Cetris desek (jak na středním traktu, tak v lodžích).

Objekt je zásobovaný teplem z centrálního zdroje. Předávací stanice je umístěna v samostatném přízemním objektu. Tepelné ztráty byly vypočteny na základě auditu viz. Tab. 4.5 – Tepelné vlastnosti budovy.

Tab. 4.5 - Tepelné vlastnosti budovy

|         | Teplená ztráta Q [W] | Měrný tepelný tok H [W/K] |
|---------|----------------------|---------------------------|
| Prostup | 46 648               | 784                       |
| Větrání | 28 719               | 615                       |
| Celkem  | 75 367               | 1 518                     |

## 5 Sestavení výpočtového softwaru

### Vstupní a výstupní hodnoty

Hlavním cílem výpočtového softwaru je stanovení potřeby energie na vytápění, která umožní modifikovat různé provozní aspekty objektu tak, aby se výsledek co nejvíce přiblížil reálné spotřebě tepla. Software by mohl sloužit jako referenční hodnota při návrhu provozních parametrů zdroje tepla např. výměňkové stanice, a může také sloužit pro kvalifikovaný odhad předpokládané spotřeby tepla u stávajících nebo naopak nových budov. Software pracuje s optimalizovanými výpočty dle norem ČSN EN ISO 13790 a denostupňové metody. Při zadání následujících základních výpočtových parametrů je software schopen vypočítat průběh předpokládané potřeby tepla v [GJ]. Pro zadání je nutné vložit tyto parametry

- vnitřní výpočtová teplota  $t_i$  [°C],
- hustota vzduchu  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>],
- měrná tepelná kapacita  $c$  [J/kg.K],
- plochy obvodového pláště rozdělené na světové strany [m<sup>2</sup>],
- součinitele prostupu tepla  $U$  [W/m<sup>2</sup>.K],
- délky tepelných mostů  $l$  [m],
- typ tepelného mostu  $\psi$  [W/m.K],
- vnitřní výpočtový objem objektu  $V$  [m<sup>3</sup>],
- plochy obytných ploch  $S$  [m<sup>2</sup>],
- účinnosti (zdroj tepla, rozvodů, obsluhy)  $\eta$  [-].

Pro porovnání je u stávajících budov vložena funkce zadání reálné spotřeby tepla za zvolené otopné období jako

- naměřená spotřeba tepla  $Q_{\text{reál}}$  [GJ].

Další možnosti vstupních dat jsou například průběhy venkovní výpočtové teploty, které je možno zadat přímo, pokud jsou k dispozici místní venkovní teploty. (Stačí vybrat se seznamu otopné období „vlastní“ a do listu „vlastní parametry“ vypsát venkovní denní teploty).

Pro novostavbu bez znalosti venkovních teplot je v seznamu otopné období možnost „Metronom 1“ nebo "Meteonorm 2", kde jsou zahrnuty denní průměrné teploty za roky 1961 až 1990, nebo 2000 až 2009. Takto lze predikovat potřebu tepla na vytápění novostavby dle výpočtového softwaru.

Výstupem je pak měsíční průběh potřeby tepla daného objektu dle ČSN EN ISO 13 790, nebo denostupňové metody s různými podmínky provozu. Výpočtové prostředí softwaru je MS Excel.

### **Softwarové hodnoty a okrajové podmínky**

Při optimalizaci výpočtových metod bylo zjištěno, že některé vstupní hodnoty ovlivňují výpočet celkové tepelné ztráty objektu více a některé méně. Uvedené má za následek rovněž ovlivnění výpočtu potřeby tepla objektu. Jedna z hodnot ovlivňující jak tepelnou ztrátu větráním tak také tepelnou ztrátu prostupem, je venkovní výpočtová teplota  $t_e$  [°C] a vnitřní výpočtová teplota  $t_i$  [°C]. Dále je pro tepelnou ztrátu větráním velmi ovlivňující parametr určující intenzitu větrání  $n$  [1/h]. Tyto dvě hodnoty mají za následek nejvíce nepřesností mezi vypočteným a reálným stavem a to platí pro obě výpočtové metody.

Venkovní průměrná teplota  $t_e$  [°C] je brána z meteorologické stanice Praha - Letňany [8] pro každý den v otopném období let (2012, 2013, 2014, 2015- nejsou úplná data). Vnitřní výpočtová teplota byla zvolena 21°C. Tato skutečnost je z praxe bytových domů ověřená a je dána reálným chování lidí v tomto segmentu bytového fondu.

Výrazný problém při sestavování modelu byla intenzita větrání  $n$  [h<sup>-1</sup>]. Ta byla určena pro každý den v návaznosti na denní venkovní teploty. Výpočtový software určuje nejpravděpodobnější chování lidí, tedy intenzitu větrání v závislosti na určité venkovní teplotě. Je všeobecně známo, že lidé větrají méně při nízkých venkovních teplotách, zatímco při vyšších venkovních teplotách větrají naopak více. Optimalizací intenzity větrání pro konkrétní teplotní intervaly, bylo dosaženo hodnot intenzit uvedených v tabulce 5.1.

Tab. 5.1 - Návrh průběhů intenzity větrání

| $t_e$ [°C] |     | n [1/h] |
|------------|-----|---------|
| od         | do  |         |
| -12        | -10 | 0,04    |
| -10        | -8  | 0,04    |
| -8         | -6  | 0,04    |
| -6         | -4  | 0,04    |
| -4         | -2  | 0,15    |
| -2         | 0   | 0,15    |
| 0          | 2   | 0,2     |
| 2          | 4   | 0,3     |
| 4          | 6   | 0,4     |
| 6          | 8   | 0,5     |
| 8          | 10  | 0,6     |
| 10         | 12  | 0,6     |
| 12         | 14  | 0,6     |

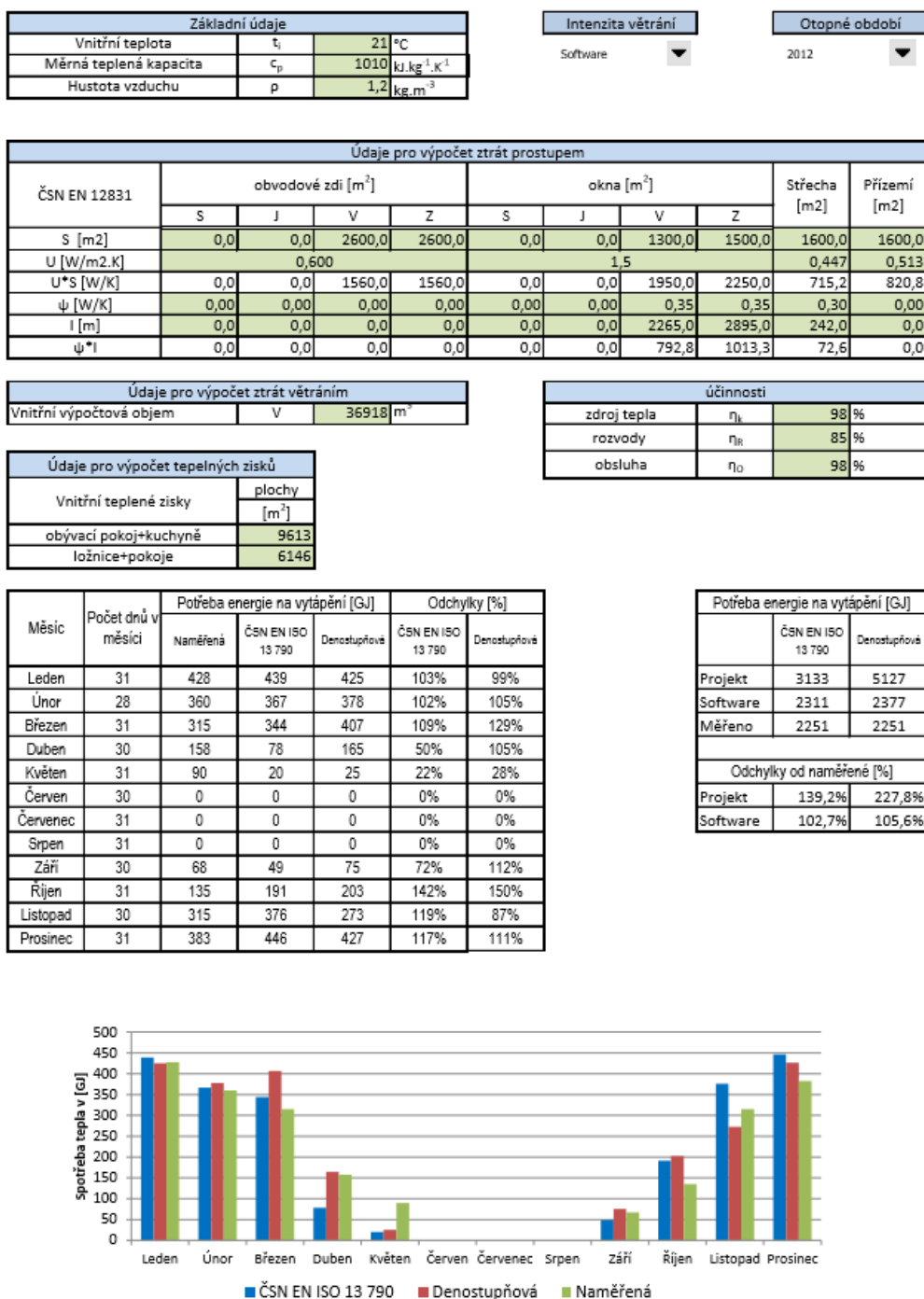
Hodnoty uvedené v tabulce 5.1 jsou voleny v návaznosti na mapování chování osob v řešených bytových domech. Pokud bychom zprůměrovali hodnoty v tabulce 5.1, dostaneme průměrnou intenzitu větrání  $n_{\text{prům}} = 0,28 \text{ h}^{-1}$ . To odpovídá přibližně také jedné z možností zadání ve výpočtovém softwaru.

Venkovní teplota a intenzita větrání byly dva základní parametry ovlivňující obě metody výpočtu potřeby tepla. V dalších podkapitolách (5.1 a 5.2) je práce zaměřena na každou metodu zvlášť a blíže popisuje provedené optimalizace jednotlivých výpočtových metod.

Vstupní údaj reálné spotřeby je odečten z ročních měření a udává jednu hodnotu pro celé otopné období. Dle vyhlášky č. 269/2015 o rozúčtování nákladů na vytápění a společnou přípravu teplé vody pro dům [9], kde vyhláška stanovuje procentuální podíl potřeby tepla pro jednotlivé měsíce viz. Tab. 5.2 - Procentuální rozdělení spotřeby tepla.

Tab. 5.2 - Procentuální rozdělení spotřeby tepla

| Měsíc  | [%] | Měsíc    | [%] |
|--------|-----|----------|-----|
| leden  | 19  | červenec | 0   |
| únor   | 16  | srpen    | 0   |
| březen | 14  | září     | 1   |
| duben  | 9   | říjen    | 8   |
| květen | 2   | listopad | 14  |
| červen | 0   | prosinec | 17  |



Obr. 5.1 - Ukázka výpočtového prostředí



## 5.1 Denostupňová metoda

Postup výpočtu byl popsán v kapitole 2.1 Denostupňová metoda. Následující popis je zaměřen na výpočet celkové tepelné ztráty. Jak již bylo popsáno v úvodu kapitoly 5, tepelná ztráta prostupem a větráním je počítána pro každý den. Tedy je-li v jednom měsíci počet tepelných ztrát prostupem a větráním odpovídající počtu dnů (např. v lednu - 31 dní), k stanovení relevantní průměrné hodnoty za celý měsíc je třeba vynásobit každý součet tepelných ztrát aktuální denní teplotou. Následně je stanovena suma těchto hodnot, která je vydělena sumou absolutních teplot, tzn. vážený průměr měsíční tepelné ztráty dle vzorce 35:

$$Q_{c,prům,m} = \frac{\sum_i (Q_{p,i} + Q_{v,i}) \cdot t_{e,i}}{\sum_i t_{e,i}} \quad (35)$$

$Q_{c,prům,m}$  - celková průměrná měsíční tepelná ztráta [W],

$Q_{p,i}$  - tepelná ztráta prostupem v i-tém dni [W],

$Q_{v,i}$  - tepelná ztráta větráním v i-tém dni [W],

$t_{e,i}$  - průměrná denní teplota i- tého dne [°C].

Celková průměrná měsíční ztráta je softwarem vypočtena pro každý měsíc zvlášť a následně je do vzorce 9 denostupňové metody dosazena nejvyšší hodnota v daném roce. Do vzorce 9 software rovněž dosadí následující výpočtové teploty. Za  $t_{is}$  [°C] dosadí vnitřní výpočtovou teplotu, která lze samostatně zadat (pro výpočty v diplomové práci je shodně volena 21 °C), za  $t_{es}$  [°C] software dosadí průměrnou měsíční hodnotu z vybraných databází teplot a za  $t_{ev}$  [°C] dosadí minimální teplotu, která byla za daný rok naměřena. Software dále vyhodnocuje podmínku, že pokud denní venkovní teplota je vyšší než vnitřní výpočtová teplota  $t_i$ , automaticky pro tento den udává nulovou tepelnou ztrátu a tudíž není potřeba žádná energie na vytápění objektu. Opravný součinitel na snížení vnitřní teploty je určen pro obytné budovy s nepřerušovaným vytápěním  $e_t = 1$ , opravný součinitel na zkrácení doby provozu vytápění je určen pro trvale vytápěné budovy (nemocnice, obytné domy atd.)  $e_d = 1$ . Opravný součinitel,

vyjadřující vliv nesoučasnosti přírážek, se vypočte dle vzorce 10, do něhož jsou opět dosazeny průměrné měsíční hodnoty.

Poté dle vzorce 15 a dosazení počátečních podmínek účinnosti zdroje tepla, obsluhy a rozvodu, software vypočte předpokládanou potřebu tepla na vytápění. Ukázka výpočtové tabulky je v *Tab. 5.3 - Ukázka výpočtu denostupňové metody*.

*Tab. 5.3 - Ukázka výpočtu denostupňové metody*

| Měsíc    | počet dnů  | celk. teplená ztráta | prům. teplota in. | prům. teplota ex. | výpočet -ová teplota | nesoučasnost přírážek | opravné součinitele |              | teoretická potřeba tepla na vytápění | Skutečná potřeba tepla na vytápění |
|----------|------------|----------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|--------------|--------------------------------------|------------------------------------|
|          | n<br>[den] | $Q_c$<br>[W]         | $t_{is}$<br>[°C]  | $t_{es}$<br>[°C]  | $t_{ev}$<br>[°C]     | $e_i$<br>[-]          | $e_t$<br>[-]        | $e_d$<br>[-] | $Q_{vyt, teor}$<br>[GJ]              | $Q_{vyt, skut}$<br>[GJ]            |
| Leden    | 31         | 228309               | 21                | 1,6               | -9,9                 | 0,80                  | 1                   | 1            | 310                                  | <b>412</b>                         |
| Únor     | 28         | 228309               | 21                | 4,4               | -9,9                 | 0,80                  |                     |              | 240                                  | <b>319</b>                         |
| Březen   | 31         | 228309               | 21                | 9,0               | -9,9                 | 0,71                  |                     |              | 172                                  | <b>229</b>                         |
| Duben    | 30         | 228309               | 21                | 12,8              | -9,9                 | 0,65                  |                     |              | 108                                  | <b>144</b>                         |
| Květen   | 31         | 228309               | 21                | 14,5              | -9,9                 | 0,65                  |                     |              | 89                                   | <b>119</b>                         |
| Červen   | 30         | 0                    | 21                | 0,0               | -9,9                 | 0,71                  |                     |              | 0                                    | <b>0</b>                           |
| Červenec | 31         | 0                    | 21                | 0,0               | -9,9                 | 0,71                  |                     |              | 0                                    | <b>0</b>                           |
| Srpen    | 31         | 0                    | 21                | 0,0               | -9,9                 | 0,71                  |                     |              | 0                                    | <b>0</b>                           |
| Září     | 30         | 228309               | 21                | 16,6              | -9,9                 | 0,61                  |                     |              | 57                                   | <b>75</b>                          |
| Říjen    | 31         | 228309               | 21                | 12,0              | -9,9                 | 0,65                  |                     |              | 121                                  | <b>160</b>                         |
| Listopad | 30         | 228309               | 21                | 7,0               | -9,9                 | 0,80                  |                     |              | 219                                  | <b>290</b>                         |
| Prosinec | 31         | 228309               | 21                | 3,4               | -9,9                 | 0,80                  |                     |              | 282                                  | <b>375</b>                         |

## 5.2 ČSN EN ISO 13 790

Postup výpočtu byl popsán v kapitole 2.2 ČSN EN ISO 13 790. Výpočet bilancováním tepelných ztrát a využitelných tepelných zisků vytápěné zóny v každém časovém kroku výpočtu, kterým je pro nás jeden den.

Tepelná ztráta prostupem a větráním je vypočtena obdobně jako pro výpočet dle denostupňové metody. Pro metodu ČSN EN ISO 13 790 se dosazují měrné tepelné ztráty, které se získají aplikováním vzorce 18 a 19. Je tedy stanovena celková měrná tepelná ztráta  $\Sigma H$ . Pro stanovení tepelných zisků se postupuje obdobně, jak je uvedeno v kapitole 2.2 tepelné zisky, které se počítají měsíční metodou, software počítá s denními hodnotami, kde je vložený upravený vzorec pro výpočet tepelných zisků pro denní hodnoty, liší se jen v tom, že se udávají denní hodnoty a ne měsíční, tímto se podařilo vyčistit a i využitelnost tepelných zisků v průběhu měsíce, která není vždy stejná, jako by bylo při započítání pro celý měsíc.

Software má hodnoty pro každý den v měsíci (ukázka v tab. 5.4). Software vyhodnocuje, pokud je denní venkovní teplota vyšší než vnitřní výpočtová teplota  $t_i$ , automaticky pro tento den udává nulovou tepelnou ztrátu a tudíž není potřeba žádná energie na vytápění objektu. Dále také vyhodnocuje denní tepelné zisky, pokud jsou tyto zisky vyšší, než je denní tepelná ztráta prostupem a větráním, opět automaticky udává nulovou tepelnou ztrátu. Tyto omezení mají hlavní vliv v přechodovém období, kdy v měsíci může nastat více stavů, kdy je venkovní teplota vyšší než je vnitřní výpočtová teplota a také sluneční záření může být intenzivnější právě v přechodném období.

Po vyseparování dnů, ve kterých není třeba v průběhu dne "vytápět", se zprůměrují hodnoty skutečné spotřeby tepla a převedou se z kWh na J dle vzorce:

$$GJ = kWh \cdot 3,6 \quad (36)$$

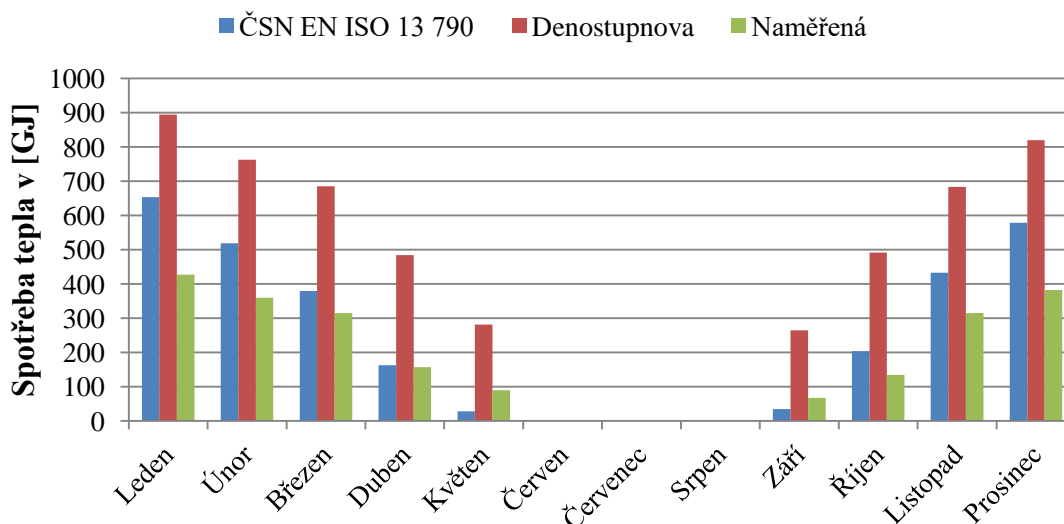
Tab. 5.4 - Ukázka výpočtu ČSN EN ISO 13 790

| Duben |      |     |        |        |       |       |       |      |         |       |      |       |      |       |
|-------|------|-----|--------|--------|-------|-------|-------|------|---------|-------|------|-------|------|-------|
| dny   | teí  | n   | Qv     | Qp     | Hv    | Hp    | ΣH    | Qc   | Qsol/Qc | τ     | ah   | ηH,gn | Qsol | Qskut |
| 1     | 1    | 0,2 | 50959  | 220059 | 2486  | 10735 | 13220 | 6504 | 0,64    | 54,63 | 4,64 | 0,95  | 4178 | 2535  |
| 2     | 2    | 0,3 | 72710  | 209325 | 3729  | 10735 | 14463 | 6769 | 0,62    | 49,94 | 4,33 | 0,95  | 4178 | 2805  |
| 3     | 2    | 0,3 | 72710  | 209325 | 3729  | 10735 | 14463 | 6769 | 0,62    | 49,94 | 4,33 | 0,95  | 4178 | 2805  |
| 4     | 2,2  | 0,3 | 71964  | 207178 | 3729  | 10735 | 14463 | 6699 | 0,62    | 49,94 | 4,33 | 0,95  | 4178 | 2743  |
| 5     | 2,5  | 0,3 | 70846  | 203957 | 3729  | 10735 | 14463 | 6595 | 0,63    | 49,94 | 4,33 | 0,94  | 4178 | 2650  |
| 6     | 2,7  | 0,3 | 70100  | 201810 | 3729  | 10735 | 14463 | 6526 | 0,64    | 49,94 | 4,33 | 0,94  | 4178 | 2588  |
| 7     | 3    | 0,3 | 68981  | 198590 | 3729  | 10735 | 14463 | 6422 | 0,65    | 49,94 | 4,33 | 0,94  | 4178 | 2496  |
| 8     | 5,5  | 0,4 | 79546  | 171754 | 4972  | 10735 | 15706 | 6031 | 0,69    | 45,99 | 4,07 | 0,92  | 4178 | 2195  |
| 9     | 8    | 0,6 | 100675 | 144917 | 7457  | 10735 | 18192 | 5894 | 0,71    | 39,70 | 3,65 | 0,90  | 4178 | 2151  |
| 10    | 8,5  | 0,6 | 96947  | 139550 | 7457  | 10735 | 18192 | 5676 | 0,74    | 39,70 | 3,65 | 0,89  | 4178 | 1973  |
| 11    | 12   | 0,6 | 70846  | 101979 | 7457  | 10735 | 18192 | 4148 | 1,01    | 39,70 | 3,65 | 0,78  | 4178 | 881   |
| 12    | 10,5 | 0,6 | 82032  | 118081 | 7457  | 10735 | 18192 | 4803 | 0,87    | 39,70 | 3,65 | 0,84  | 4178 | 1310  |
| 13    | 11,5 | 0,6 | 74574  | 107346 | 7457  | 10735 | 18192 | 4366 | 0,96    | 39,70 | 3,65 | 0,80  | 4178 | 1016  |
| 14    | 12,8 | 0,6 | 64880  | 93391  | 7457  | 10735 | 18192 | 3798 | 1,10    | 39,70 | 3,65 | 0,75  | 4178 | 682   |
| 15    | 15,5 | 1   | 74574  | 64408  | 12429 | 10735 | 23164 | 3336 | 1,25    | 31,18 | 3,08 | 0,66  | 4178 | 560   |
| 16    | 17   | 1   | 55931  | 48306  | 12429 | 10735 | 23164 | 2502 | 1,67    | 31,18 | 3,08 | 0,54  | 4178 | 236   |
| 17    | 17   | 1   | 55931  | 48306  | 12429 | 10735 | 23164 | 2502 | 1,67    | 31,18 | 3,08 | 0,54  | 4178 | 236   |
| 18    | 20,5 | 1   | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     | 0    | 0,00    | 0,00  | 1,00 | 1,00  | 4178 | 0     |
| 19    | 12,8 | 0,6 | 64880  | 93391  | 7457  | 10735 | 18192 | 3798 | 1,10    | 39,70 | 3,65 | 0,75  | 4178 | 682   |
| 20    | 9,8  | 0,6 | 87252  | 125595 | 7457  | 10735 | 18192 | 5108 | 0,82    | 39,70 | 3,65 | 0,86  | 4178 | 1532  |
| 21    | 14   | 1   | 93218  | 80510  | 12429 | 10735 | 23164 | 4169 | 1,00    | 31,18 | 3,08 | 0,75  | 4178 | 1019  |
| 22    | 15,5 | 1   | 74574  | 64408  | 12429 | 10735 | 23164 | 3336 | 1,25    | 31,18 | 3,08 | 0,66  | 4178 | 560   |
| 23    | 16   | 1   | 68360  | 59040  | 12429 | 10735 | 23164 | 3058 | 1,37    | 31,18 | 3,08 | 0,63  | 4178 | 435   |
| 24    | 17   | 1   | 55931  | 48306  | 12429 | 10735 | 23164 | 2502 | 1,67    | 31,18 | 3,08 | 0,54  | 4178 | 236   |
| 25    | 20,3 | 1   | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     | 0    | 0,00    | 0,00  | 1,00 | 1,00  | 4178 | 0     |
| 26    | 20,1 | 1   | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     | 0    | 0,00    | 0,00  | 1,00 | 1,00  | 4178 | 0     |
| 27    | 13,5 | 0,6 | 59659  | 85877  | 7457  | 10735 | 18192 | 3493 | 1,20    | 39,70 | 3,65 | 0,71  | 4178 | 528   |
| 28    | 9    | 0,6 | 93218  | 134183 | 7457  | 10735 | 18192 | 5458 | 0,77    | 39,70 | 3,65 | 0,88  | 4178 | 1799  |
| 29    | 12   | 0,6 | 70846  | 101979 | 7457  | 10735 | 18192 | 4148 | 1,01    | 39,70 | 3,65 | 0,78  | 4178 | 881   |
| 30    | 12   | 0,6 | 70846  | 101979 | 7457  | 10735 | 18192 | 4148 | 1,01    | 39,70 | 3,65 | 0,78  | 4178 | 881   |

## 6 Vyhodnocení posuzovaných objektů

### 6.1 Objekt Brdičkova 1916-1921

Potřeby tepla na vytápění pro objekt Brdičkova 1916-1921 dle okrajových podmínek projektu



Graf 6.1 - Potřeba tepla na vytápění dle okrajových podmínek projektu

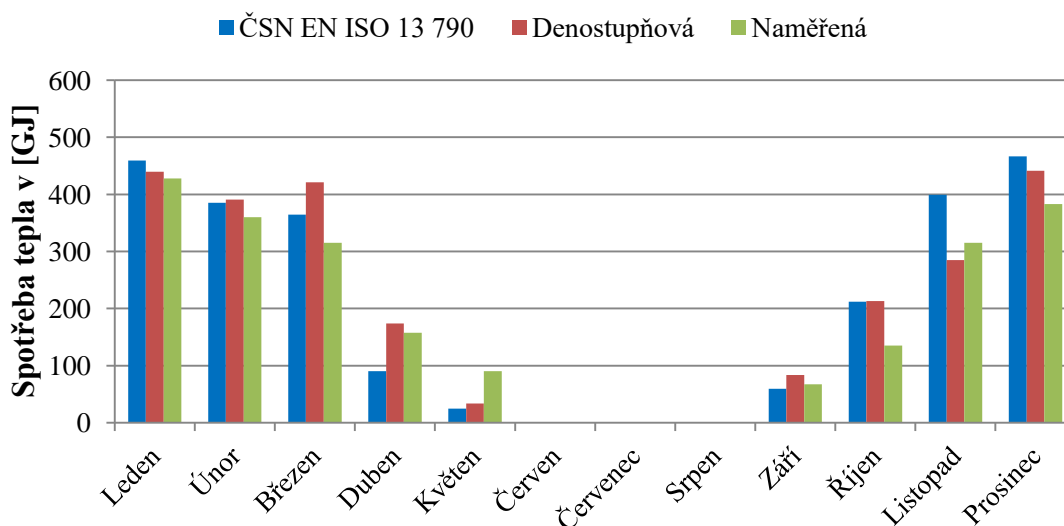
Tab. 6.1 - Potřeba tepla na vytápění dle okrajových podmínek projektu

| Měsíc    | Počet dnů v měsíci | Potřeba energie na vytápění [GJ] |                   |              | Odchylky [%]      |              |
|----------|--------------------|----------------------------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
|          |                    | Naměřená                         | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová |
| Leden    | 31                 | 428                              | 654               | 895          | 153%              | 209%         |
| Únor     | 28                 | 360                              | 519               | 763          | 144%              | 212%         |
| Březen   | 31                 | 315                              | 380               | 685          | 121%              | 217%         |
| Duben    | 30                 | 158                              | 163               | 484          | 103%              | 306%         |
| Květen   | 31                 | 90                               | 28                | 281          | 31%               | 312%         |
| Červen   | 30                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Červenec | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Srpen    | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Září     | 30                 | 68                               | 34                | 264          | 50%               | 388%         |
| Říjen    | 31                 | 135                              | 204               | 491          | 151%              | 364%         |
| Listopad | 30                 | 315                              | 433               | 683          | 137%              | 217%         |
| Prosinec | 31                 | 383                              | 579               | 819          | 151%              | 214%         |

U tohoto objektu je naměřená spotřeba tepla 2 252 GJ, dle výpočtů okrajových podmínek v projektové dokumentaci vychází dle normy ČSN EN ISO 13 790 potřeba tepla 2 994 GJ a dle denostupňové metody 5 365 GJ. Čemuž odpovídá odchylka od naměřené hodnoty pro ČSN EN ISO 13 790 133% a pro denostupňovou metodu 238 %.

Podle průzkumu je chování lidí v začátku otopného období tzv. šetrnější a nevytápí se na vnitřní výpočtovou teplotu což je prokázané větší odchylkou v tomto přechodovém období (říjen, listopad), naproti tomu ke konci otopného období (březen, duben) je odchylka menší z čehož se dá usoudit, že lidé v tomto období vytápějí na vnitřní výpočtovou teplotu. Trend odchylky znázorňuje chování každé metody, kde pro ČSN EN ISO 13 790 je počítáno se zisky a to má v přechodovém období za následek, že se norma ČSN EN ISO 13 790 přibližuje k naměřeným hodnotám oproti normě denostupňové, kde naopak odchylka v přechodovém období narůstá. Důvod lze hledat ve stanovení podílu s venkovními zisky od oslunění, které v denostupňové metodě nejsou ve výpočtu zaneseny.

#### Potřeby tepla na vytápění pro objekt Brdičkova 1916-1921 dle výpočtového softwaru pro rok 2012



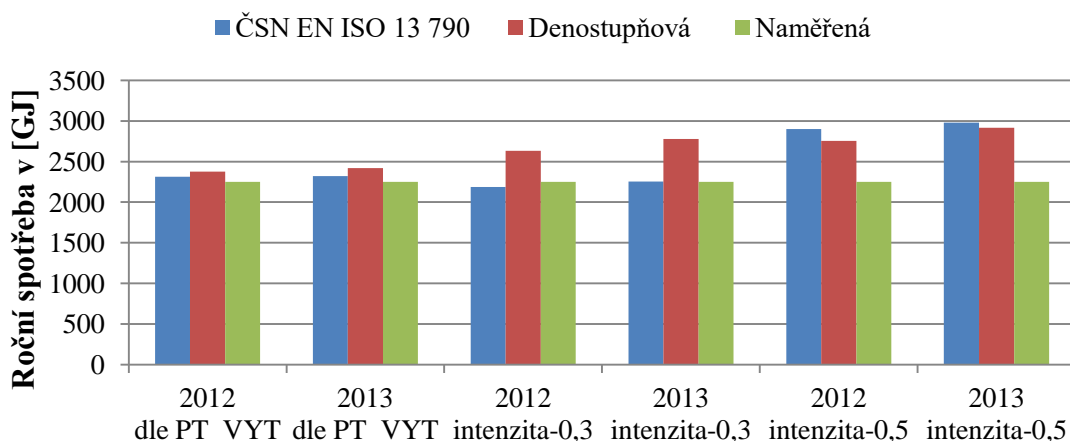
Graf 6.2 - Potřeba tepla na vytápění dle výpočetního softwaru PT\_VYT rok 2012

Tab. 6.2 - Potřeba tepla na vytápění dle výpočetního softwaru PT\_VYT rok 2012

| Měsíc    | Počet dnů v měsíci | Potřeba energie na vytápění [GJ] |                   |              | Odchylky [%]      |              |
|----------|--------------------|----------------------------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
|          |                    | Naměřená                         | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová |
| Leden    | 31                 | 428                              | 459               | 440          | 107%              | 103%         |
| Únor     | 28                 | 360                              | 385               | 391          | 107%              | 109%         |
| Březen   | 31                 | 315                              | 364               | 421          | 116%              | 134%         |
| Duben    | 30                 | 158                              | 90                | 176          | 57%               | 111%         |
| Květen   | 31                 | 90                               | 24                | 34           | 27%               | 38%          |
| Červen   | 30                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Červenec | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Srpen    | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Září     | 30                 | 68                               | 59                | 83           | 87%               | 122%         |
| Říjen    | 31                 | 135                              | 212               | 213          | 157%              | 158%         |
| Listopad | 30                 | 315                              | 399               | 285          | 127%              | 90%          |
| Prosinec | 31                 | 383                              | 466               | 441          | 122%              | 115%         |

Po aplikaci výpočtového softwaru pro stanovení potřeby tepla vychází dle normy ČSN EN ISO 13 790 2 458 GJ a dle Denostupňové metody 2 484 GJ. Čemuž odpovídá odchylka od naměřené hodnoty pro ČSN EN ISO 13 790 ve výši 109% a pro denostupňovou metodu 110 %.

Opět se projevuje trend začátku otopného období, kde chování lidí je takzvaně „šetřivé“ a není vytápěno na požadované vnitřní výpočtové teploty, což vidíme na zvýšené odchylce v tomto období, naproti tomu konec otopného období nasvědčuje takzvanému „nešetřivému provozu“ kdy dochází k přetápění, ukazuje to snížená odchylka v tomto období. Celkový vliv má také rozdělení naměřené spotřeby tepla, které je provedeno dle vyhlášky č. 269/2015 o rozúčtování nákladů na vytápění. Hlavní měřitelný parametr je celková vypočtená hodnota, která je znázorněna v následujícím grafu 6.3.



Graf 6.3 - Roční spotřeba tepla s různými intenzitami větrání pro daná otopná období

Jak bylo řečeno v kapitole 5, výpočtový software počítá s proměnou intenzitou větrání závislou na venkovní denní výpočtové teplotě. V grafu 6.3 jsou znázorněny roční spotřeby pro otopné období 2012 a 2013. Dosazením různých intenzit větrání do výpočtového softwaru je patrné, že intenzita větrání 0,3 se velmi přibližuje k normě ČSN EN ISO 13 790 při použití proměnné intenzity, jak bylo vysvětleno v kapitole 5. Proměnná intenzita větrání má větší vliv u denostupňové metody, kde vidíme značný nárůst při aplikování konstantní intenzity větrání v celém otopném období. Při dosazení intenzity větrání 0,5, která je nejčastěji používána v projektech pro výpočet tepelné ztráty větráním, dle grafu 6.3 je vidět výrazný převis vypočtené potřeby tepla oběma způsoby oproti reálnému stavu.

Tab. 6.3 – Potřeba tepla na vytápění dle venkovních teplot za použití dat softwaru Meteororm

| Období      | Potřeba energie na vytápění [GJ] |                   |              | Odchytky [%]      |              |
|-------------|----------------------------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
|             | Naměřená                         | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová |
| Meteororm 1 | 2250                             | 2538              | 2680         | 113%              | 119%         |
| Meteororm 2 | 2250                             | 2376              | 2489         | 106%              | 111%         |

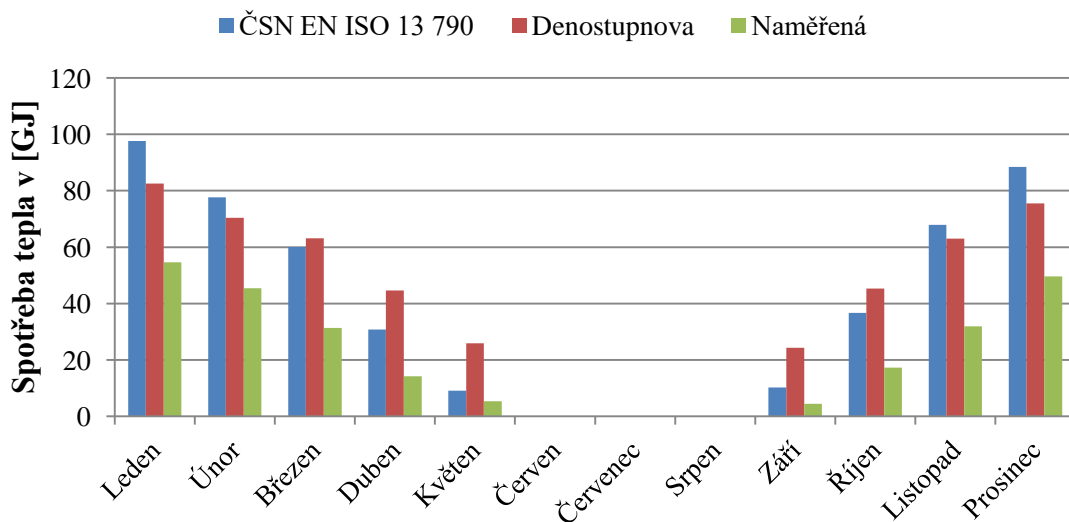
Při aplikaci výpočtového softwaru a dosazení venkovních výpočtových teplot dle softwaru Meteororm (tj. model Meteororm 1 a 2) dosahujeme celkem dobré shody s modelem teplot využívající reálné data venkovních teplot pro dané období. Použití zdrojových dat Meteororm, je samozřejmě vázáno na konkrétní lokalitu, nicméně lze



vycházet alespoň z cca 30 letého průměru teplot dané lokality (model Meteonorm 1). Použití modelu Meteonorm 2 je reálné spotřebě v letech 2012 až 2014 ještě blíže, ale je nutné si uvědomit, že se jedná o data z let 2000 až 2009, čili relativně krátké časové období (dekádu) a proto je nutné tyto hodnoty brát z určitou rezervou. Pokud by, ale např. projektant neměl k dispozici místní reálné teploty, lze doporučit využívat spíše průběh teplot dle modelu Meteonorm 1, který respektuje delší časový sběr dat. Rozdíly ve výsledku ukazuje *tabulka 6.3 – Potřeba tepla na vytápění dle venkovních teplot za použití dat softwaru Meteonorm*.

## 6.2 Objekt U Velkého rybníka 2210/113

Potřeby tepla na vytápění pro objekt U Velkého rybníka 2210/113 dle okrajových podmínek projektu



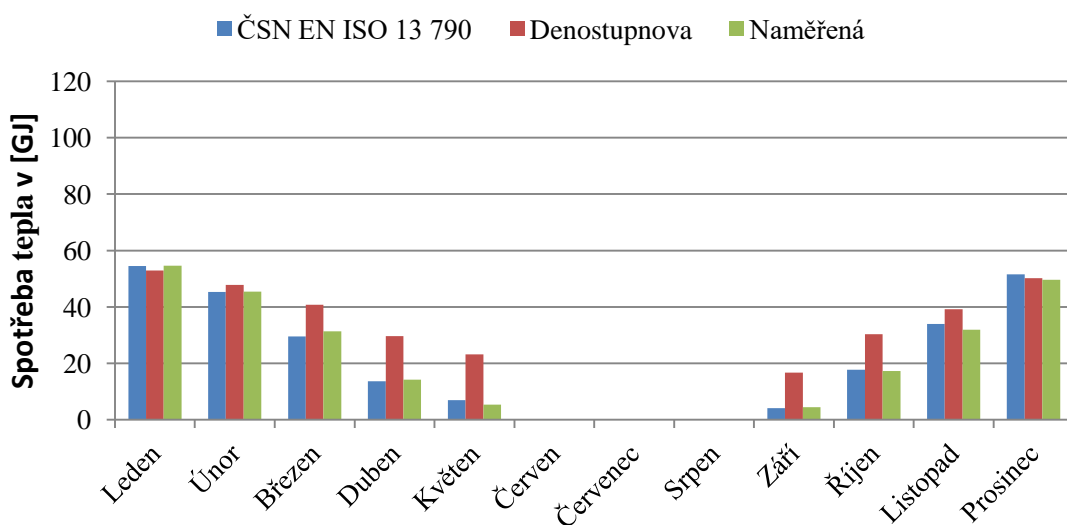
Graf 6.3 - Potřeba tepla na vytápění dle okrajových podmínek projektu

Tab. 6.4 - Potřeba tepla na vytápění dle okrajových podmínek projektu

| Měsíc    | Počet dnů v měsíci | Potřeba energie na vytápění [GJ] |                   |              | Odchytky [%]      |              |
|----------|--------------------|----------------------------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
|          |                    | Naměřená                         | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová |
| Leden    | 31                 | 55                               | 98                | 83           | 178%              | 151%         |
| Únor     | 28                 | 45                               | 78                | 70           | 173%              | 156%         |
| Březen   | 31                 | 31                               | 60                | 63           | 194%              | 203%         |
| Duben    | 30                 | 14                               | 31                | 45           | 221%              | 321%         |
| Květen   | 31                 | 5                                | 9                 | 26           | 180%              | 520%         |
| Červen   | 30                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Červenec | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Srpen    | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Září     | 30                 | 5                                | 10                | 24           | 200%              | 480%         |
| Říjen    | 31                 | 17                               | 37                | 45           | 218%              | 265%         |
| Listopad | 30                 | 32                               | 68                | 63           | 213%              | 197%         |
| Prosinec | 31                 | 50                               | 88                | 76           | 176%              | 152%         |

U tohoto objektu je naměřená spotřeba tepla 254 GJ, výpočtů okrajových podmínek v projektové dokumentaci vychází dle normy ČSN EN ISO 13 790 potřeba tepla na vytápění 479 GJ a dle denostupňové metody to bylo 495 GJ. Čemuž odpovídá odchylka od naměřené hodnoty pro ČSN EN ISO 13 790 ve výši 189 % a pro denostupňovou metodu 195 %.

#### Potřeby tepla na vytápění pro objekt U Velkého rybníka 2210/113 dle výpočtového softwaru pro rok 2014

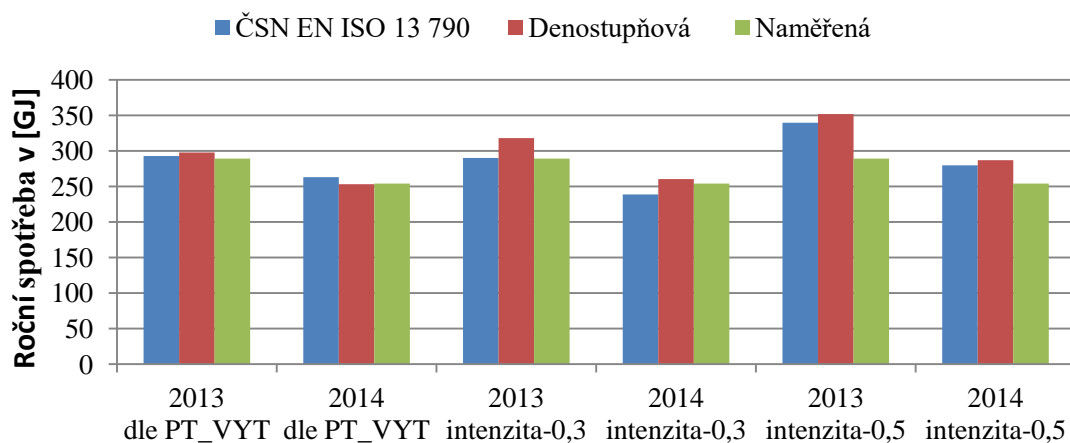


Graf 6.4 - Potřeba tepla na vytápění dle výpočetního softwaru PT\_VYT rok 2014

Tab. 6.5 - Potřeba tepla na vytápění dle výpočetního softwaru PT\_VYT rok 2014

| Měsíc    | Počet dnů v měsíci | Potřeba energie na vytápění [GJ] |                   |              | Odchylky [%]      |              |
|----------|--------------------|----------------------------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
|          |                    | Naměřená                         | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová |
| Leden    | 31                 | 55                               | 55                | 53           | 100%              | 96%          |
| Únor     | 28                 | 45                               | 45                | 48           | 100%              | 107%         |
| Březen   | 31                 | 31                               | 30                | 41           | 97%               | 132%         |
| Duben    | 30                 | 14                               | 14                | 30           | 100%              | 214%         |
| Květen   | 31                 | 5                                | 7                 | 23           | 140%              | 460%         |
| Červen   | 30                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Červenec | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Srpen    | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Září     | 30                 | 5                                | 4                 | 17           | 80%               | 340%         |
| Říjen    | 31                 | 17                               | 18                | 30           | 106%              | 176%         |
| Listopad | 30                 | 32                               | 34                | 39           | 106%              | 122%         |
| Prosinec | 31                 | 50                               | 52                | 50           | 104%              | 100%         |

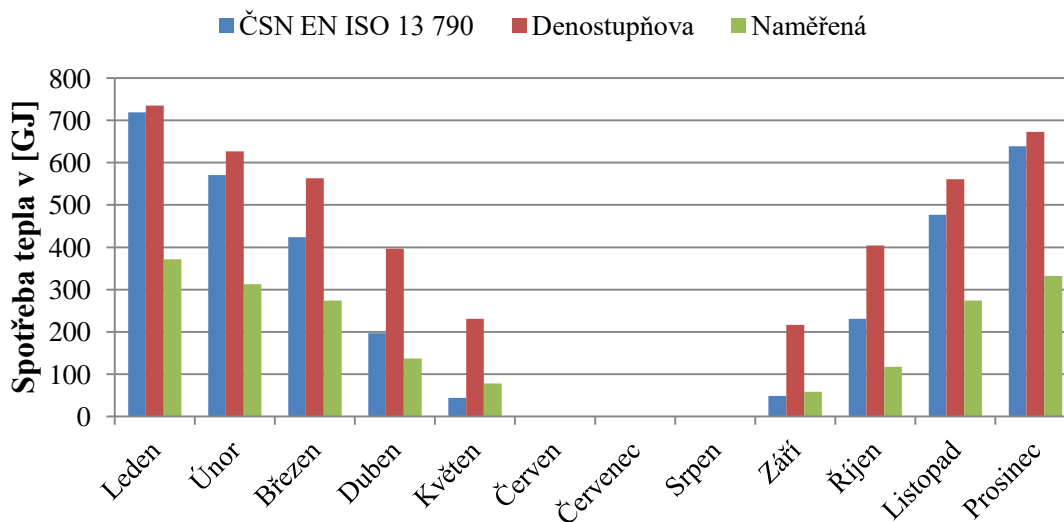
Po aplikaci výpočtového softwaru pro stanovení potřeby tepla vychází dle normy ČSN EN ISO 13 790 potřeba tepla na vytápění 263 GJ a dle denostupňové metody 256 GJ. Čemuž odpovídá odchylka od naměřené hodnoty pro ČSN EN ISO 13 790 ve výši 104 % a pro denostupňovou metodu 101 %.



Graf 6.5 - Roční spotřeba tepla s různými intenzitami větrání pro daná otopná období

### 6.3 Objekt Augustinova 2064-2066

Potřeby tepla na vytápění pro objekt Augustinova 2064-2066 dle okrajových podmínek projektu



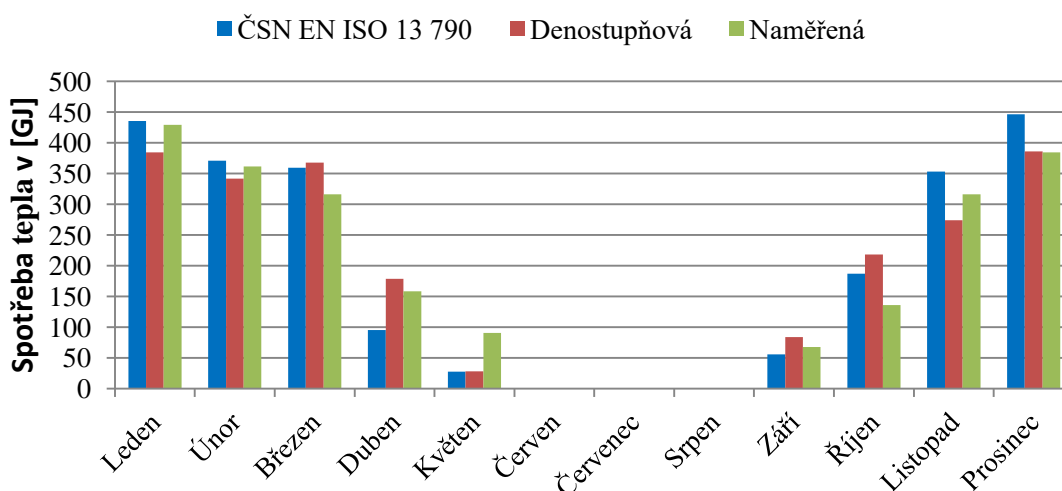
Graf 6.6 - Potřeba tepla na vytápění dle okrajových podmínek projektu

Tab. 6.6 - Potřeba tepla na vytápění dle okrajových podmínek projektu

| Měsíc    | Počet dnů v měsíci | Potřeba energie na vytápění [GJ] |                   |              | Odchyly [%]       |              |
|----------|--------------------|----------------------------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
|          |                    | Naměřená                         | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová |
| Leden    | 31                 | 372                              | 719               | 735          | 193%              | 198%         |
| Únor     | 28                 | 313                              | 571               | 627          | 182%              | 200%         |
| Březen   | 31                 | 274                              | 424               | 563          | 155%              | 205%         |
| Duben    | 30                 | 137                              | 197               | 397          | 144%              | 290%         |
| Květen   | 31                 | 78                               | 44                | 231          | 56%               | 296%         |
| Červen   | 30                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Červenec | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Srpen    | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Září     | 30                 | 59                               | 49                | 217          | 83%               | 368%         |
| Říjen    | 31                 | 117                              | 231               | 404          | 197%              | 345%         |
| Listopad | 30                 | 274                              | 477               | 561          | 174%              | 205%         |
| Prosinec | 31                 | 333                              | 639               | 673          | 192%              | 202%         |

U tohoto objektu je naměřená spotřeba pro rok 2012 tepla 2 259 GJ, výpočtů okrajových podmínek v projektové dokumentaci vychází dle normy ČSN EN ISO 13 790 potřeba tepla na vytápění 2 961 GJ a dle denostupňové metody 4 349 GJ. Čemuž odpovídá odchylka od naměřené hodnoty pro ČSN EN ISO 13 790 ve výši 131 % a pro denostupňovou metodu 193 %.

### Potřeby tepla na vytápění pro objekt Augustinova 2064-2066 dle výpočtového softwaru pro rok 2012

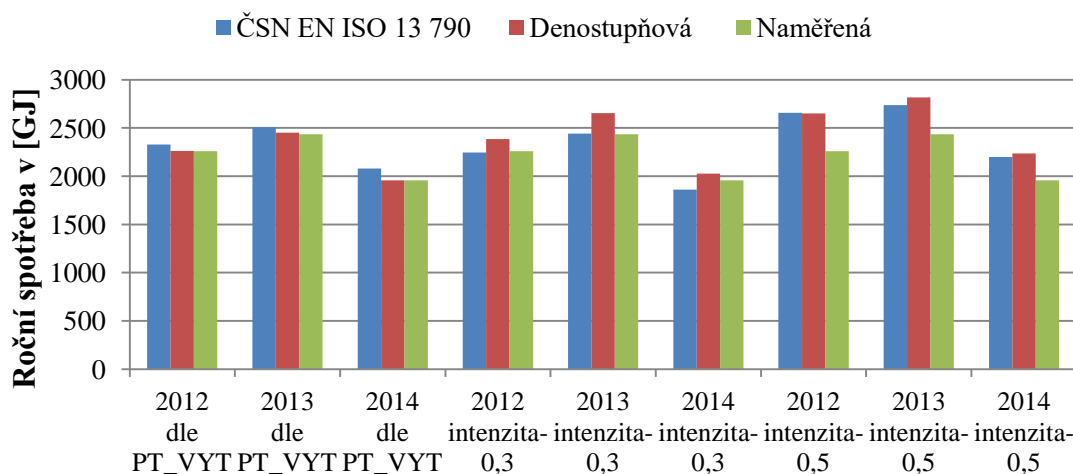


Graf 6.7 - Potřeba tepla na vytápění dle výpočtového softwaru PT\_VYT rok 2012

Tab. 6.7 - Potřeba tepla na vytápění dle výpočtového softwaru PT\_VYT rok 2012

| Měsíc    | Počet dnů v měsíci | Potřeba energie na vytápění [GJ] |                   |              | Odchylky [%]      |              |
|----------|--------------------|----------------------------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
|          |                    | Naměřená                         | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová |
| Leden    | 31                 | 429                              | 435               | 385          | 101%              | 90%          |
| Únor     | 28                 | 361                              | 371               | 342          | 103%              | 95%          |
| Březen   | 31                 | 316                              | 359               | 368          | 114%              | 116%         |
| Duben    | 30                 | 158                              | 95                | 179          | 60%               | 113%         |
| Květen   | 31                 | 90                               | 28                | 28           | 30%               | 31%          |
| Červen   | 30                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Červenec | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Srpen    | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Září     | 30                 | 68                               | 56                | 84           | 82%               | 123%         |
| Říjen    | 31                 | 136                              | 187               | 218          | 138%              | 161%         |
| Listopad | 30                 | 316                              | 353               | 274          | 112%              | 87%          |
| Prosinec | 31                 | 384                              | 446               | 386          | 116%              | 100%         |

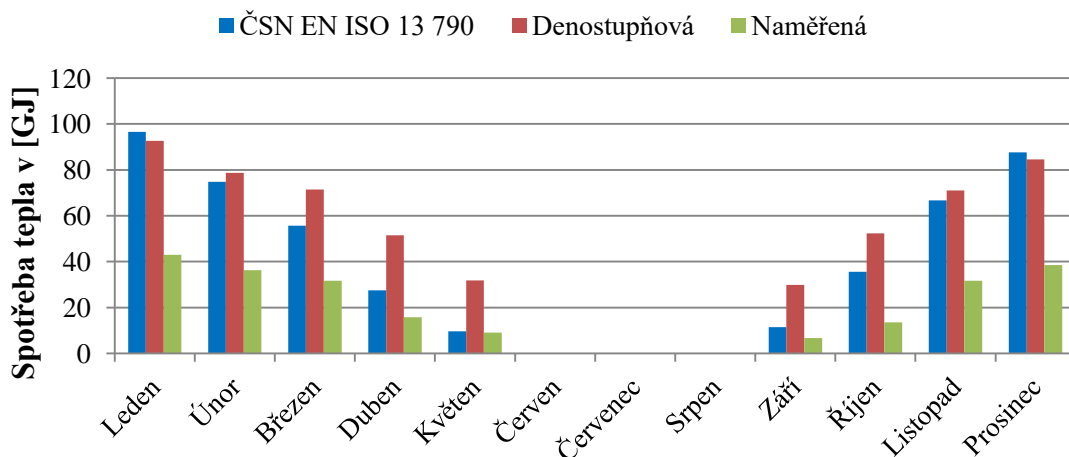
Po aplikaci výpočtového softwaru pro stanovení potřeby tepla vychází dle normy ČSN EN ISO 13 790 potřeba tepla na vytápění 2 330 GJ a dle denostupňové metody 2 262 GJ. Čemuž odpovídá odchylka od naměřené hodnoty pro ČSN EN ISO 13 790 ve výši 103 % a pro denostupňovou metodu 101 %.



Graf 6.8 - Roční spotřeba tepla s různými intenzitami větrání pro daná otopná období

## 6.4 Objekt Šimonova 1104-4

Potřeby tepla na vytápění pro objekt Šimonova 1104-4 dle okrajových podmínek projektu.



Graf 6.9 - Potřeba tepla na vytápění dle okrajových podmínek projektu

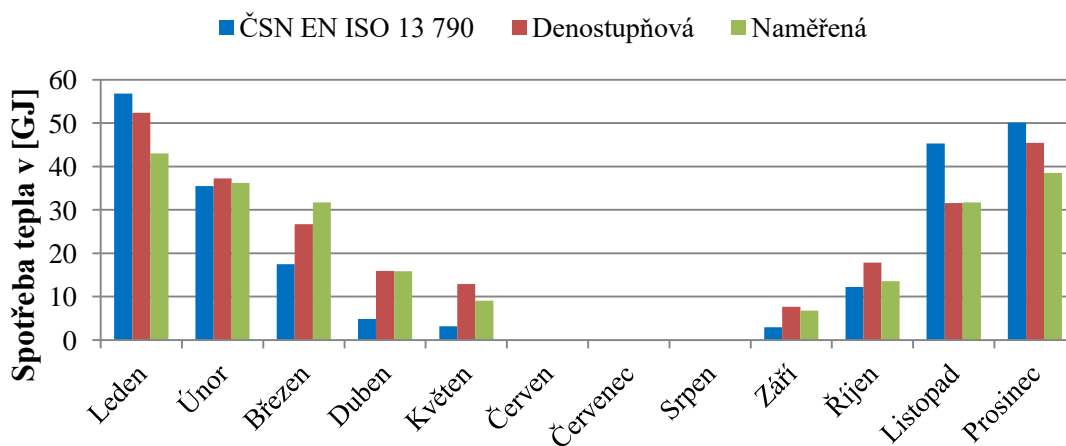
Tab. 6.8 - Potřeba tepla na vytápění dle okrajových podmínek projektu

| Měsíc    | Počet dnů v měsíci | Potřeba energie na vytápění [GJ] |                   |              | Odchylky [%]      |              |
|----------|--------------------|----------------------------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
|          |                    | Naměřená                         | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová |
| Leden    | 31                 | 43                               | 57                | 52           | 132%              | 122%         |
| Únor     | 28                 | 36                               | 35                | 37           | 98%               | 103%         |
| Březen   | 31                 | 32                               | 18                | 27           | 55%               | 84%          |
| Duben    | 30                 | 16                               | 5                 | 16           | 31%               | 101%         |
| Květen   | 31                 | 9                                | 3                 | 13           | 35%               | 143%         |
| Červen   | 30                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Červenec | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Srpen    | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Září     | 30                 | 7                                | 3                 | 8            | 43%               | 113%         |
| Říjen    | 31                 | 14                               | 12                | 18           | 90%               | 132%         |
| Listopad | 30                 | 32                               | 45                | 32           | 143%              | 100%         |
| Prosinec | 31                 | 38                               | 50                | 45           | 130%              | 118%         |



U tohoto objektu je naměřená spotřeba pro rok 2014 tepla 226 GJ, výpočtů okrajových podmínek v projektové dokumentaci vychází dle normy ČSN EN ISO 13 790 potřeba tepla na vytápění 466 GJ a dle denostupňové metody 691 GJ. Čemuž odpovídá odchylka od naměřené hodnoty pro ČSN EN ISO 13 790 ve výši 206 % a pro denostupňovou metodu až 305 %.

### Potřeby tepla na vytápění pro objekt Šimonova 1104-4 dle výpočtového softwaru pro rok 2014

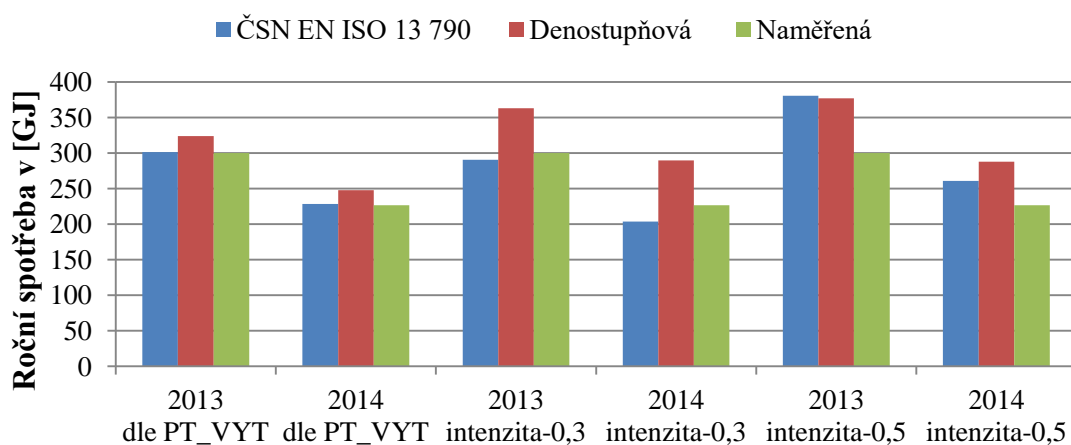


Graf 6.10 - Potřeba tepla na vytápění dle výpočetního softwaru PT\_VYT rok 2014

Tab. 6.9 - Potřeba tepla na vytápění dle výpočetního softwaru PT\_VYT rok 2014

| Měsíc    | Počet dnů v měsíci | Potřeba energie na vytápění [GJ] |                   |              | Odchylky [%]      |              |
|----------|--------------------|----------------------------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
|          |                    | Naměřená                         | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová |
| Leden    | 31                 | 43                               | 57                | 52           | 132%              | 122%         |
| Únor     | 28                 | 36                               | 35                | 37           | 98%               | 103%         |
| Březen   | 31                 | 32                               | 18                | 27           | 55%               | 84%          |
| Duben    | 30                 | 16                               | 5                 | 16           | 31%               | 101%         |
| Květen   | 31                 | 9                                | 3                 | 13           | 35%               | 143%         |
| Červen   | 30                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Červenec | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Srpen    | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Září     | 30                 | 7                                | 3                 | 8            | 43%               | 113%         |
| Říjen    | 31                 | 14                               | 12                | 18           | 90%               | 132%         |
| Listopad | 30                 | 32                               | 45                | 32           | 143%              | 100%         |
| Prosinec | 31                 | 38                               | 50                | 45           | 130%              | 118%         |

Po aplikaci výpočtového softwaru pro stanovení potřeby tepla vychází dle normy ČSN EN ISO 13 790 potřeba tepla na vytápění 228 GJ a dle denostupňové metody 248 GJ. Čemuž odpovídá odchylka od naměřené hodnoty pro ČSN EN ISO 13 790 vyší 101 % a pro denostupňovou metodu 109 %.



Graf 6.11 - Roční spotřeba tepla s různými intenzitami větrání pro daná otopná období

## 6.5 Zhodnocení vypočtených dat

Tab. 6.10 – Porovnání potřeb tepla na vytápění dle okrajových podmínek projektu (intenzita větrání  $0,5 \text{ h}^{-1}$ ) a výpočtového softwaru s použitím reálného průběhu venkovních teplot daného otopného období

| Název objektu         | Období | Naměřená spotřeba [GJ] | Odchyly od naměřené spotřeby [%] |              |                   |              |
|-----------------------|--------|------------------------|----------------------------------|--------------|-------------------|--------------|
|                       |        |                        | Výpočet dle projektu             |              | Výpočtový model   |              |
|                       |        |                        | ČSN EN ISO 13 790                | Denostupňová | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová |
| Brdičkova 1916-1921   | 2012   | 2251                   | 139,2%                           | 227,8%       | 102,7%            | 105,6%       |
|                       | 2013   | 2250                   | 139,2%                           | 227,9%       | 103,2%            | 107,6%       |
| U Velkého Rybníka     | 2013   | 289                    | 149,4%                           | 195,8%       | 101,3%            | 103,0%       |
|                       | 2014   | 254                    | 181,7%                           | 238,5%       | 103,6%            | 99,7%        |
| Augustinova 2064-2066 | 2012   | 2259                   | 131,1%                           | 192,5%       | 103,1%            | 100,1%       |
|                       | 2013   | 2435                   | 125,8%                           | 184,1%       | 103,0%            | 100,8%       |
|                       | 2014   | 1956                   | 156,6%                           | 229,2%       | 106,3%            | 100,1%       |
| Šimonova 1104-4       | 2013   | 299                    | 163,0%                           | 229,7%       | 100,5%            | 107,9%       |
|                       | 2014   | 226                    | 205,7%                           | 305,1%       | 100,9%            | 109,4%       |

Z tabulky 6.9 je zřejmé, že použití okrajových podmínek ve fázi projektu pro stanovení potřeby tepla je od reálně naměřené hodnoty výrazně předimenzované. Je samozřejmé, že výpočet v případě použití denostupňové metody je v důsledku používání pouze průměrné venkovní teploty za otopné období (jediná hodnota pro celé otopné období) zatížen největší chybou. Na druhou stranu postup výpočtu dle ČSN EN ISO 13 790 je matematicky výrazněji komplikovanější a ne zcela uživatelsky příjemný.

Pokud, ale přistoupíme k úpravě denostupňové metody lze i s takto jednoduchou metodou dosáhnout velmi uspokojivých výsledků. Zásadní úpravou je použití jiného modelu větrání, který u budov s přirozenou výměnou vzduchu je velmi silně podmíněn individuálním chováním uživatelů.

Další možnost jak se přiblížit reálné spotřebě tepla je použití modelu průběhu teplot, který respektuje danou lokalitu. Byl zvolen software Meteororm, který poskytuje různé možnosti vyhodnocení meteorologických údajů. Dá se říci, že v případě použití historicky měřených hodnot průběhu teplot v dané lokalitě a úpravou tepelné ztráty větrání na  $0,3 \text{ h}^{-1}$ , jsou výsledky výpočtu výrazně lepší než v předchozím případě (viz. Tabulka 6.10).

Při standardním výpočtu byla odchylka u denostupňové metody v průměru cca +225 % (maximum bylo až +305 %), při použití venkovních teplot dle Meteoronu 1 a úpravě modelu větrání byla u denostupňové metody průměrná odchylka cca + 129 % (maximum bylo až +155,5 %).

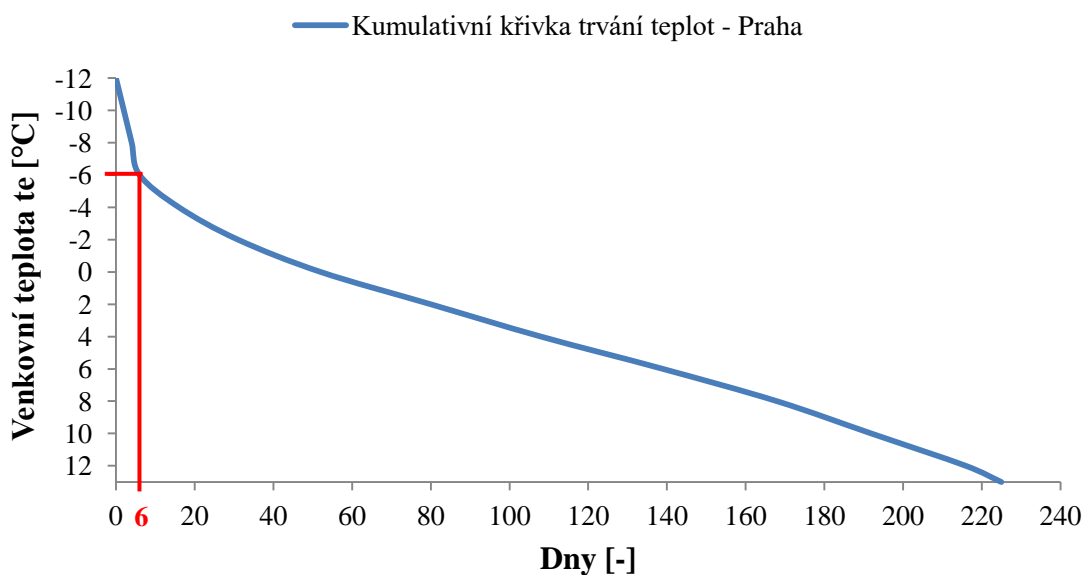
*Tab. 6.11 – Porovnání potřeb tepla na vytápění při použití průběhu teplot ze softwaru Meteoronu 1 a výpočtového softwaru s použitím reálného průběhu teplot daného otopného období, oba postupy mají upravený model větrání dle kapitoly 5 (průměr je cca 0,3 h<sup>-1</sup>)*

| Název objektu         | Období | Naměřená spotřeba [GJ] | Odchylky od naměřené spotřeby [%] |              |                   |              |
|-----------------------|--------|------------------------|-----------------------------------|--------------|-------------------|--------------|
|                       |        |                        | Výpočet s Meteoronu 1             |              | Výpočtový model   |              |
|                       |        |                        | ČSN EN ISO 13 790                 | Denostupňová | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová |
| Brdičkova 1916-1921   | 2012   | 2251                   | 112,8%                            | 119,1%       | 102,7%            | 105,6%       |
|                       | 2013   | 2250                   | 112,7%                            | 119,1%       | 103,2%            | 107,6%       |
| U Velkého Rybníka     | 2013   | 289                    | 127,2%                            | 128,8%       | 101,3%            | 103,0%       |
|                       | 2014   | 254                    | 144,8%                            | 146,3%       | 103,6%            | 99,7%        |
| Augustinova 2064-2066 | 2012   | 2259                   | 121,3%                            | 119,6%       | 103,1%            | 100,1%       |
|                       | 2013   | 2435                   | 112,5%                            | 111,0%       | 103,0%            | 100,8%       |
|                       | 2014   | 1956                   | 140,0%                            | 138,1%       | 106,3%            | 100,1%       |
| Šimonova 1104-4       | 2013   | 299                    | 104,1%                            | 125,7%       | 100,5%            | 107,9%       |
|                       | 2014   | 226                    | 128,8%                            | 155,5%       | 100,9%            | 109,4%       |

## 7 Možnosti optimalizace návrhu výměňkové stanice s ohledem na reálnou potřebu tepla

Velikost výměňkové stanice se navrhuje v závislosti na maximální vypočtený výkon, který se stanovuje v souladu s normou ČSN EN 12 831 – Tepelné soustavy v budovách – výpočet tepelného výkonu. Tato norma vychází ve výpočtech z nejnepríznivějších venkovních teplotních podmínek, které v dané lokalitě mohou nastat. V praxi je velmi běžné, že při výpočtu dle daných norem dochází k značnému předdimenzování výkonu. Jednak tím, že výsledky výpočtů jsou většinou zaokrouhlovány směrem nahoru na nejbližší celá čísla, a také proto, že projektant velmi často používá metody výpočtu, které již v samé podstatě jsou zatíženy výraznou chybou (např. zjednodušená metoda výpočtu tepelných ztrát dle ČSN EN 12 831). Takto předdimenzovaný výkon stran požadavku na zásobování teplem daného objektu je velmi často dále prohlouben projektantem výměňkové stanice, který tepelný výkon stanice dále navýší. Ve výsledku dostáváme výměňkovou stanici o výkonu a velikosti dimenzí neodpovídající reálné potřebě tepla.

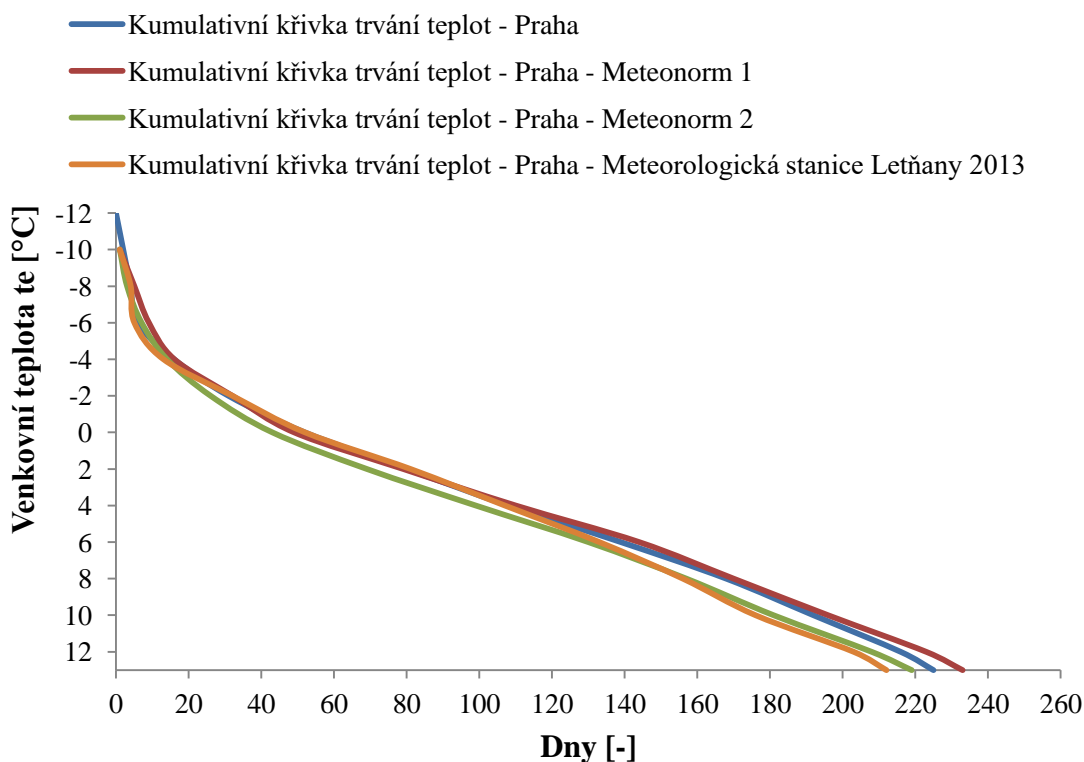
Na základě optimalizace výpočtů potřeby tepla bude v dalším textu ukázán potenciál možných investičních úspor při návrhu a provozu výměňkových stanic s ohledem na množství odebraného tepla.



Graf 7.1 – Kumulativní křivka trvání venkovních teplot – Praha

Uvažujeme-li počátek topné sezóny pro venkovní teplotu + 13 °C, trvá topná sezóna v Praze cca 225 dnů. Venkovní teploty nižší jak -6 °C trvají přibližně 6 dnů a podmínky, na něž je výměňková stanice dimenzována (její jmenovitý výkon), představující tak cca 1 týden provozu zdroje tepla. Pokud budeme uvažovat spotřebu energie, je z uvedeného Grafu 7.1 vidět, že cca 97 % spotřeby je realizováno v období s venkovní teplotou vyšší než -6 °C.

Na dalším grafu je pak vidět reálný průběh venkovní teploty pro oblast Prahy jak teoretické kumulativní křivky trvání venkovních teplot, tak i dle dat z Meteorormu 1 a 2 a také za otopné období v roce 2013. Z grafu 7.2 je zřejmá dobrá shoda mezi teoretickým a skutečně měřením kumulativním výskytem venkovních teplot. Zásadní rozdíl je mezi minimálně dosaženou venkovní teplotou. V případě teoretického stanovení je to pro oblast Prahy -12 °C, dle Meteorormu 1 je to -9,9 °C, dle Meteorormu 2 je to -8,8 °C a v roce 2013 byla minimální venkovní teplota pro Prahu – Letňany -10,4 °C.



Graf 7.2 – Kumulativní křivka trvání venkovních teplot dle různých zdrojů

Pokud bychom tedy dle projektových hodnot uvažovali instalovaný tepelný výkon výměňkové stanice 1000 kW při venkovní výpočtové teplotě  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pak při venkovní teplotě  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  lze vypočítat aktuální hodnotu tepelného výkonu výměňkové stanice cca 800 kW, což je pokles o zhruba 20 %.

Tuto změnu aktuálního tepelného výkonu lze z pohledu provozu výměňkové stanice modifikovat matematicky jako

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (37)$$

$m$  - hmotnostní průtok teplotnosné látky [ $\text{m}^3/\text{h}$ ],

$c$  - měrná tepelná kapacita pro střední teplotu teplotnosné látky [ $\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$ ],

$\Delta t$  - teplotní spád [ $\text{K}$ ].

U výměňkových stanic s velkým výkonem cca nad 200 kW jsou osazeny výměňky větších rozměrů, kde snížení požadovaného tepelného výkonu je realizováno menším počtem desek ve výměňku, nebo snížení výměňkové řady, je více markantní pokles ceny oproti výměňkům menších pod 200 kW tepelných výkonů, kde úbytek desek na snížení ceny už nemá takový vliv. Výměňková řada se neurčí jen dle tepelného výkonu, ale také dle vstupních údajů, které jsou:

- požadovaný tepelný výkon,
- teplotní spád na primární a sekundární straně  $\Delta t$  [ $\text{K}$ ],
- tlaková ztráta  $p$  [ $\text{kPa}$ ].

Po dosazení těchto parametrů vychází výměňková řada o požadovaném výkonu, objemový průtok  $m$  [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] dopočten volí se dle něho regulační ventil na primární straně a na sekundární straně velikost čerpadlo. Okrajové podmínky při návrhu jsou:

- teplotní spád na primární straně (udává - teplárna, výtopna),
- teplotní spád na sekundární straně (75/65, 70/55, dle návrhu otopných těles),
- tlaková ztráta  $p$  [ $\text{kPa}$ ].

Změnu tepelného výkonu výměníku lze korigovat změnou vstupních okrajových podmínek. Náš modelový příklad je výměník o výkonu 1000 kW čemuž odpovídají okrajové podmínky návrhu:

- primární strana -  $\Delta t$  130/70 °C,  $m = 15,2 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- sekundární strana -  $\Delta t$  75/65 °C,  $m = 88,0 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Při snížení tepelného výkonu na 800 kW odpovídá výměník o nižším počtu desek, tedy s nižší pořizovací cenou, než výměník na 1000 kW. Tomu také odpovídají provozní podmínky:

- primární strana -  $\Delta t$  130/70 °C,  $m = 12,2 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- sekundární strana -  $\Delta t$  75/65 °C,  $m = 70,4 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Se změnou tepelného výkonu se snížil objemový průtok teplotnosné látky skrze výměník. Pokud navrhujeme výměníkovou stanici s výkonem výměníku 800 kW, přičemž uvažujeme, že tento výkon stanice pokryje cca 97 % otopného období, budeme při požadovaném zvýšení tepelného výkonu (zbylé cca 3 % potřeby tepla pro venkovní teplotu nižší než  $-6 \text{ °C}$ ) změny v okrajových podmínkách.

Navýšení výkonu u výměníku 800 kW na výkon 1000 kW dosáhneme změnou dvou hodnot:

1. na primární straně se zvýší průtok z  $12,2 \text{ m}^3/\text{h}$  na  $15,2 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
2. na sekundární straně se změní teplotní spád ze 75/65 °C na 75/62,5 °C.

Navýšení průtoku na primární straně dosáhneme regulačním ventilem, který při samotném návrhu musí být přizpůsoben pro tento zvýšený průtok. Ze strany teplárny je tato změna průtoku do jisté míry přijatelná, teplárna má k dispozici rezervní čerpadla, které do jisté míry dokáže pokrýt požadovaný průtok. Na sekundární straně se při zvýšení teplotního spádu pro otopné plochu musí adekvátně snížit množství objemového průtoku otopné vody odpovídající reálné potřebě tepla. Při současné technologii oběhových čerpadel toto opatření nepředstavuje výrazný problém.



Při volbě návrhu výměňkové stanice na venkovní výpočtovou teplotu  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  nebo na  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  dosáhneme snížení investičních nákladů o zhruba 10 %, ale stále musíme mít na paměti to, že nikdy nebudeme moci přesně předvídat, jaká v daném otopném období bude potřeba tepla (průběh venkovní teploty). Při návrhu tak projektant musí respektovat nejnepříznivější podmínky pro provoz otopné soustavy a zdroje tepla. Na druhou stranu v případě mírnějších zim je, ale nutné volit složitější regulační systém, který dokáže tento maximální tepelný výkon upravovat. Změna tepelného výkonu bude mít vliv i na teplotu vody v otopné soustavě a tím také zvýší nároky na čerpací techniku.

## 8 Závěr

Diplomová práce prokázala, že při výpočtu potřeby tepla na vytápění je dle standardních metod dosahováno značně nadhodnocených výsledků ve srovnání s reálným provozem. Tyto výpočty jsou založeny na teoretickém předpokladu potřeby tepla na vytápění a větrání budov. Diplomová práce se zabývala posouzením několika obytných budov právě s ohledem na skutečnou potřebu tepla. Z pohledu provozních podmínek se ukázalo, že právě potřeba tepla na větrání je u budov s přirozeným systémem větrání velmi problematická. Tato potřeba tepla je vázána na individuální chování uživatelů. Z pohledu potřeby tepla se dá říci, že za otopné období je průměrná reálná intenzita větrání cca  $0,3 \text{ h}^{-1}$ . Nicméně diplomová práce pracovala s predikcí chování uživatelů a to tak, že v chladnějším období uživatelé větrají výrazně méně než v období přechodovém. Bilančně byl tento model větrání posuzován v individuálně a s časovým krokem 1 den. Další problém z pohledu projektanta resp. teoretického výpočtu potřeby tepla, je volba klimatických podmínek. Pro potřeby výpočtového softwaru byla vybrána data z programu Meteonorm. Tato data byla následně porovnána jak z pohledu dlouhodobého průměru (období mezi lety 1961 až 1990), tak i krátkodobého průměru (tj. mezi lety 2000 až 2009).

Jako základní metody pro výpočet potřeby tepla na vytápění budov bylo uvažováno s postupem dle ČSN EN ISO 13 790 a tzv. denostupňovou metodou. Výsledky ukázali, že v případě teoretických projektových hodnot je odchylka od reálné spotřeby až +300 %. Po vyhodnocení výpočtů na celkem 4 náhodně vybraných objektech práce prokázala, že nejvýznamnější parametry ovlivňující výpočtovou metodu jsou, jak bylo uvedeno, venkovní výpočtová teplota a intenzita větrání. Při aplikaci reálné venkovní denní teploty a dosažení intenzity větrání přiřazenou pro každý den v závislosti na venkovní teplotě, bylo dosaženo optimalizace výpočtů a odchylka od naměřených spotřeb se liší v řádově jen v jednotkách procent.

Na základě těchto znalostí byl vytvořen výpočtový software PT\_VYT, který při zadání návrhových parametrů (viz kapitola 5) provede výpočet a na výstupu znázorní graficky potřebu tepla v celém otopném období. Software je sestaven v prostředí MS Excel a umožňuje individuální přístup k okrajovým podmínkám, např. vlastní zadání

průběhu venkovních teplot, vytvoření dalšího modelu větrání, stanovení podmínek pro tepelné zisky (typy zasklení) apod.

Poslední částí diplomové práce je úvaha stran investičních a provozních podmínek výměňkové stanice s ohledem na reálnou potřebu tepla. Nejprve je nutné si uvědomit, že projektant musí striktně dodržet návrhové parametry odpovídající příslušným normám a vyhláškám platných v ČR. Na druhou stranu diplomová práce prokázala, že i v dlouhodobém horizontu měření venkovních teplot se tyto stavy téměř nevyskytují, resp. jejich procentuální vyjádření v délce otopného období je cca 3 %. Z pohledu investičních nákladů by instalace výkonově nižší výměňkové stanice nepřinesla významných úspor. Z pohledu provozních podmínek je, ale v případě instalace výkonově nižší výměňkové stanice počítat s vícenáklady na zajištění provozních podmínek jako jsou zejména vyšší průtok teplotnosné látky na primární straně výměňku a změna teplotního spádu na sekundární straně výměňku. To sebou může přinést nepříznivé stavy jak pro odběratele, tak i pro distributora.

## 9 Literatura

- [1] Brož. K.: Vytápění. Vydavatelství ČVUT, 2002. 205 s. ISBN 80-01-02536-5
- [2] ČSN EN ISO 13790 Energetická náročnost budov. ÚNMZ 1.10.2009
- [3] ČSN 06 0210 Výpočet teplených ztrát budov při ústředním vytápění ČKD DUKLA, a. s. 1.5.1994
- [4] Výběr ze cvičení z předmětu Vytápění, *ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ú 12 116* [online] [vid. 5.12.2015]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Vytapeni/>
- [5] ČSN EN ISO 14683 Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích. ÚNMZ únor 2009
- [6] *tzbinfo* [online]. [vid. 29.12.2014]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4848-predavaci-stanice-tepla-ve-vodnich-soustavach-czt-i>
- [7] Firemní podklady *Alfa Laval* [online]. [vid. 29.12.2014]. Dostupné z : <http://local.alfalaval.com/cs-cz/produkty/prenos-tepla/predavaci-stance/Pages/vyменikove-stance.aspx>
- [8] *meteo filip* [online]. [vid. 8.12.2015]. Dostupné z: <http://meteo1.filipus.cz/data.php>
- [9] Vyhláška č. 269/2015 *Vyhláška o rozúčtování nákladů na vytápění a a společnou přípravu teplé vody pro dům*. Vydána 30 září 2015
- [10] Vyhláška č. 193/2007 *Vyhláška kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu*. Vydána 17 července 2007
- [11] Valenta V. a kol.: Topenářská příručka 3. Vydavatelství Agentura ČSTZ, s.r.o. CD Rom, ISBN 978-80-86028-13-2
- [12] *tzbinfo* [online]. [vid. 29.12.2015]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/8239-pozadavky-na-vetrani-obytnych-budov-dle-csn-en-15-665-z1>
- [13] *tzbinfo* [online]. [vid. 29.12.2015]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3065-tepelne-zisky-od-vnitrnich-zdroju>

## **10 Seznam příloh**

Ukázka výstupu výpočtového softwaru PT\_VYT u objektu Brdičkova 1916-1921 pro rok 2013.

Příloha č. 1

Ukázka výstupu výpočtového softwaru PT\_VYT u objektu U Velkého rybníka 2210/113 pro rok 2013.

Příloha č. 2

Ukázka výstupu výpočtového softwaru PT\_VYT u objektu Augustinova 2064-2066 pro rok 2013.

Příloha č. 3

Ukázka výstupu výpočtového softwaru PT\_VYT u objektu Šimonova 1104-4 pro rok 2013.

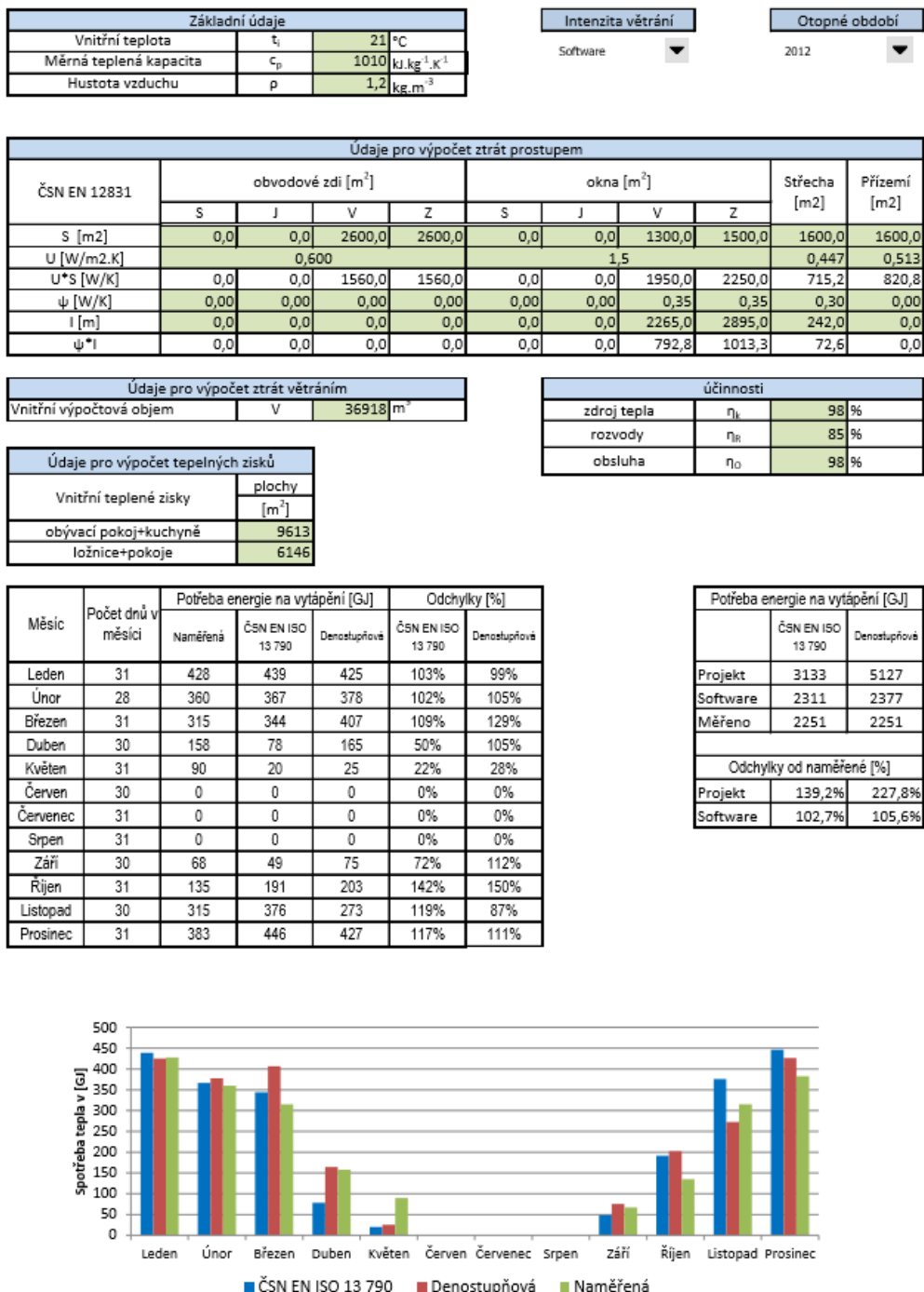
Příloha č. 4

Prostředí ve výpočtovém softwaru PT\_VYT pro zadání vlastních venkovních teplot a spotřeb objektu

Příloha č. 5

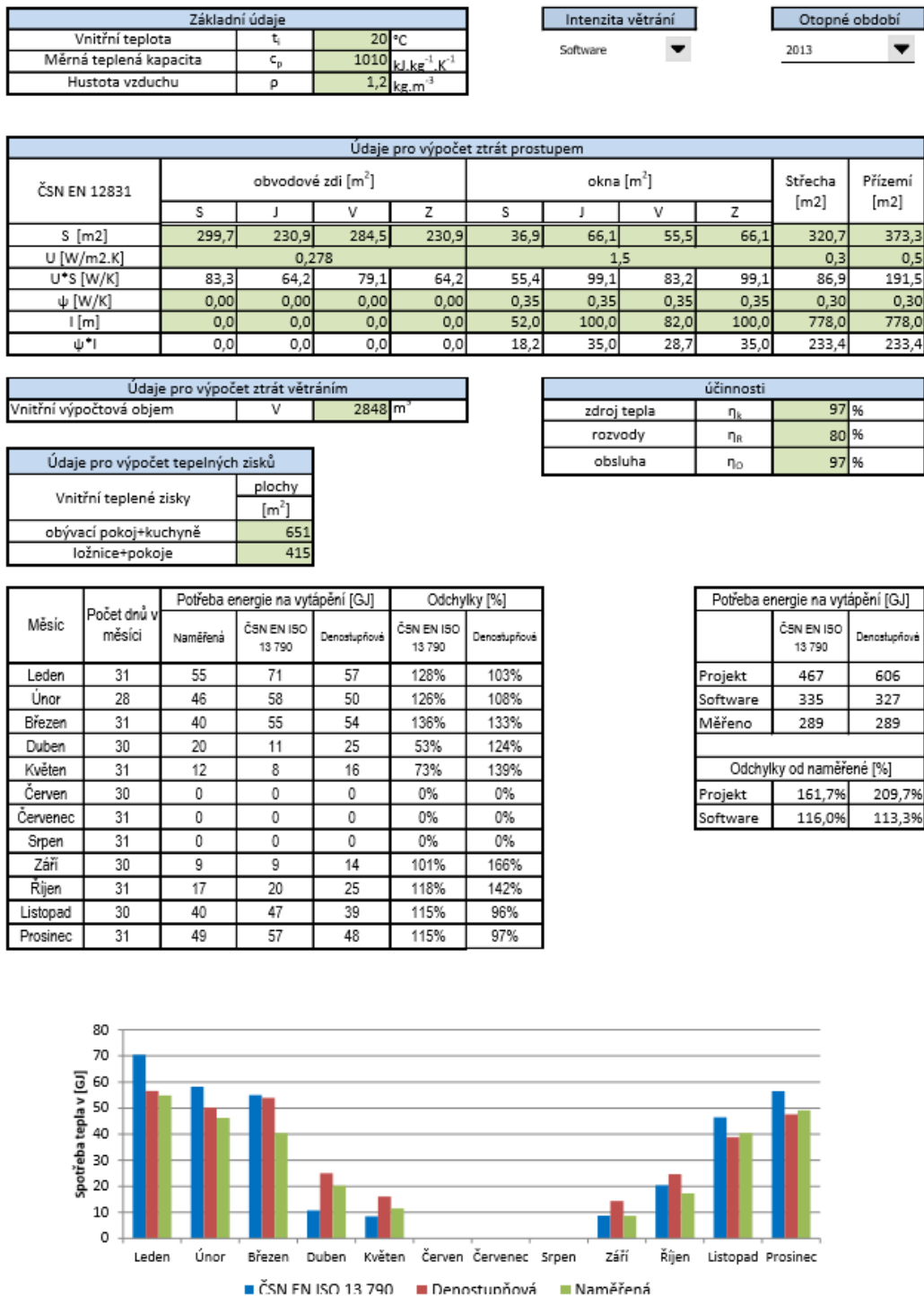
Ukázka výstupu výpočtového softwaru PT\_VYT u objektu Brdičkova 1916-1921 pro rok 2013.

## Příloha č. 1



Ukázka výstupu výpočtového softwaru PT\_VYT u objektu U Velkého rybníka 2210/113 pro rok 2013.

## Příloha č. 2



Ukázka výstupu výpočtového softwaru PT\_VYT u objektu Augustinova 2064-2066 pro rok 2013.

## Příloha č. 3

| Základní údaje         |        |      |                                   |
|------------------------|--------|------|-----------------------------------|
| Vnitřní teplota        | $t_i$  | 21   | °C                                |
| Měrná tepelná kapacita | $c_p$  | 1010 | $\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ |
| Hustota vzduchu        | $\rho$ | 1,2  | $\text{kg.m}^{-3}$                |

| Intenzita větrání | Otopné období |
|-------------------|---------------|
| Software          | 2013          |

| Údaje pro výpočet ztrát prostupem |                                |       |       |        |                        |      |      |        |                           |                           |
|-----------------------------------|--------------------------------|-------|-------|--------|------------------------|------|------|--------|---------------------------|---------------------------|
| ČSN EN 12831                      | obvodové zdi [m <sup>2</sup> ] |       |       |        | okna [m <sup>2</sup> ] |      |      |        | Střecha [m <sup>2</sup> ] | Přízemí [m <sup>2</sup> ] |
|                                   | S                              | J     | V     | Z      | S                      | J    | V    | Z      |                           |                           |
| S [m <sup>2</sup> ]               | 1088,0                         | 544,0 | 544,0 | 1329,0 | 637,9                  | 0,0  | 0,0  | 792,9  | 703,7                     | 767,0                     |
| U [W/m <sup>2</sup> .K]           | 0,551                          |       |       |        | 2,8                    |      |      |        | 0,449                     | 1,048                     |
| U*s [W/K]                         | 599,5                          | 299,7 | 299,7 | 732,3  | 1786,1                 | 0,0  | 0,0  | 2220,1 | 316,0                     | 803,8                     |
| $\psi$ [W/K]                      | 0,00                           | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,60                   | 0,00 | 0,60 | 0,00   | 0,75                      | 0,00                      |
| l [m]                             | 0,0                            | 0,0   | 0,0   | 0,0    | 2176,0                 | 0,0  | 0,0  | 2176,0 | 138,6                     | 0,0                       |
| $\psi \cdot l$                    | 0,0                            | 0,0   | 0,0   | 0,0    | 1305,6                 | 0,0  | 0,0  | 1305,6 | 104,0                     | 0,0                       |

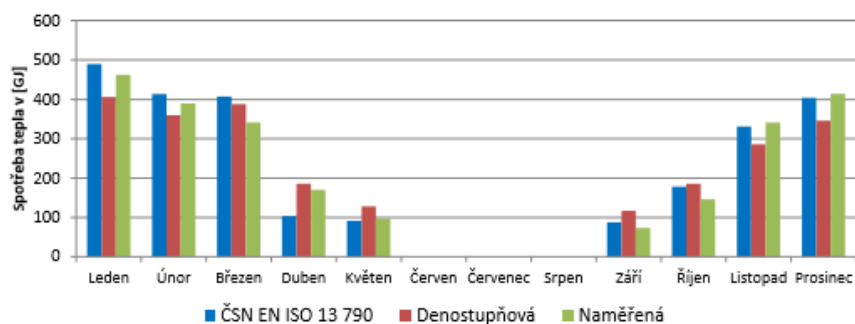
| Údaje pro výpočet ztrát větráním |                        |
|----------------------------------|------------------------|
| Vnitřní výpočtová objem          | V 20700 m <sup>3</sup> |

| účinnosti   |          |      |
|-------------|----------|------|
| zdroj tepla | $\eta_k$ | 98 % |
| rozvody     | $\eta_R$ | 80 % |
| obsluha     | $\eta_o$ | 98 % |

| Údaje pro výpočet tepelných zisků |                   |
|-----------------------------------|-------------------|
| Vnitřní tepelné zisky             | plochy            |
|                                   | [m <sup>2</sup> ] |
| obývací pokoj+kuchyně             | 5545              |
| ložnice+pokoje                    | 3696              |

| Měsíc    | Počet dnů v měsíci | Potřeba energie na vytápění [GJ] |                   |              | Odchytky [%]      |              |
|----------|--------------------|----------------------------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
|          |                    | Naměřená                         | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová |
| Leden    | 31                 | 463                              | 490               | 406          | 106%              | 88%          |
| Únor     | 28                 | 390                              | 414               | 360          | 106%              | 92%          |
| Březen   | 31                 | 341                              | 407               | 388          | 119%              | 114%         |
| Duben    | 30                 | 170                              | 103               | 186          | 61%               | 109%         |
| Květen   | 31                 | 97                               | 91                | 128          | 94%               | 132%         |
| Červen   | 30                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Červenec | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Srpen    | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Září     | 30                 | 73                               | 88                | 116          | 120%              | 159%         |
| Říjen    | 31                 | 146                              | 178               | 186          | 122%              | 127%         |
| Listopad | 30                 | 341                              | 331               | 286          | 97%               | 84%          |
| Prosinec | 31                 | 414                              | 404               | 346          | 98%               | 84%          |

|                          | Potřeba energie na vytápění [GJ] |              |
|--------------------------|----------------------------------|--------------|
|                          | ČSN EN ISO 13 790                | Denostupňová |
| Projekt                  | 3060                             | 4390         |
| Software                 | 2505                             | 2402         |
| Měřeno                   | 2435                             | 2435         |
| Odchytky od naměřené [%] |                                  |              |
| Projekt                  | 125,7%                           | 180,3%       |
| Software                 | 102,9%                           | 98,6%        |





Ukázka výstupu výpočtového softwaru PT\_VYT u objektu Šimonova 1104-4 pro rok 2013.

Příloha č. 4

| Základní údaje         |        |   | Intenzita větrání | Otopné období |
|------------------------|--------|---|-------------------|---------------|
| Vnitřní teplota        | $t_i$  | 21 °C   | Software          | 2013          |
| Měrná tepelná kapacita | $c_p$  | 1010 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ |                   |               |
| Hustota vzduchu        | $\rho$ | 1,2 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$                     |                   |               |

| Údaje pro výpočet ztrát prostupem |                                |      |       |       |                        |      |       |       |                           |                           |
|-----------------------------------|--------------------------------|------|-------|-------|------------------------|------|-------|-------|---------------------------|---------------------------|
| ČSN EN 12831                      | obvodové zdi [m <sup>2</sup> ] |      |       |       | okna [m <sup>2</sup> ] |      |       |       | Střecha [m <sup>2</sup> ] | Přízemí [m <sup>2</sup> ] |
|                                   | S                              | J    | V     | Z     | S                      | J    | V     | Z     |                           |                           |
| S [m <sup>2</sup> ]               | 0,0                            | 0,0  | 235,8 | 371,0 | 0,0                    | 0,0  | 138,0 | 208,2 | 211,3                     | 248,0                     |
| U [W/m <sup>2</sup> .K]           | 0,300                          |      |       |       | 1,2                    |      |       |       | 0,160                     | 1,060                     |
| U*s [W/K]                         | 0,0                            | 0,0  | 70,7  | 111,3 | 0,0                    | 0,0  | 171,1 | 258,2 | 33,8                      | 262,9                     |
| $\psi$ [W/K]                      | 0,00                           | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00                   | 0,00 | 0,50  | 0,50  | 0,35                      | 0,35                      |
| l [m]                             | 0,0                            | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0                    | 0,0  | 465,0 | 465,0 | 58,0                      | 58,0                      |
| $\psi \cdot l$                    | 0,0                            | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0                    | 0,0  | 232,5 | 232,5 | 20,3                      | 20,3                      |

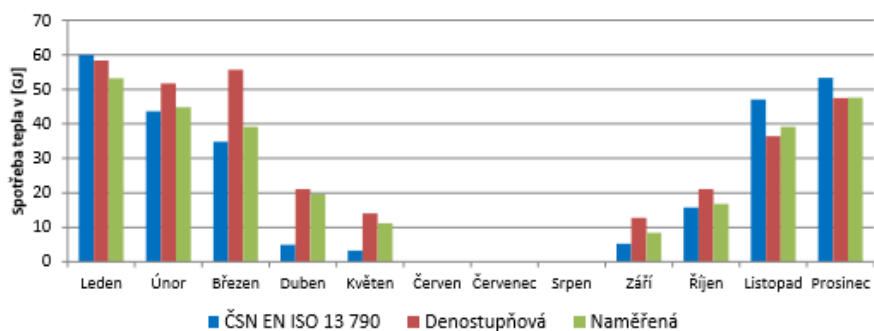
| Údaje pro výpočet ztrát větráním |   |                     |
|----------------------------------|---|---------------------|
| Vnitřní výpočtová objem          | V | 5170 m <sup>3</sup> |

| účinnosti   |          |      |
|-------------|----------|------|
| zdroj tepla | $\eta_k$ | 98 % |
| rozvody     | $\eta_R$ | 85 % |
| obsluha     | $\eta_o$ | 98 % |

| Údaje pro výpočet tepelných zisků |                          |      |
|-----------------------------------|--------------------------|------|
| Vnitřní tepelné zisky             | plochy [m <sup>2</sup> ] |      |
|                                   | obývací pokoj+kuchyně    | 1504 |
|                                   | ložnice+pokoje           | 741  |

| Měsíc    | Počet dnů v měsíci | Potřeba energie na vytápění [GJ] |                   |              | Odchylky [%]      |              |
|----------|--------------------|----------------------------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
|          |                    | Naměřená                         | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová |
| Leden    | 31                 | 53                               | 60                | 58           | 113%              | 110%         |
| Únor     | 28                 | 45                               | 44                | 52           | 97%               | 115%         |
| Březen   | 31                 | 39                               | 35                | 56           | 89%               | 142%         |
| Duben    | 30                 | 20                               | 5                 | 21           | 25%               | 108%         |
| Květen   | 31                 | 11                               | 3                 | 14           | 29%               | 126%         |
| Červen   | 30                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Červenec | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Srpen    | 31                 | 0                                | 0                 | 0            | 0%                | 0%           |
| Září     | 30                 | 8                                | 5                 | 13           | 63%               | 152%         |
| Říjen    | 31                 | 17                               | 16                | 21           | 94%               | 126%         |
| Listopad | 30                 | 39                               | 47                | 36           | 120%              | 93%          |
| Prosinec | 31                 | 48                               | 53                | 48           | 112%              | 100%         |

| Potřeba energie na vytápění [GJ] |                   |              |
|----------------------------------|-------------------|--------------|
|                                  | ČSN EN ISO 13 790 | Denostupňová |
| Projekt                          | 466               | 691          |
| Software                         | 268               | 319          |
| Měřeno                           | 280               | 280          |
| Odchylky od naměřené [%]         |                   |              |
| Projekt                          | 166,3%            | 246,7%       |
| Software                         | 95,8%             | 113,9%       |



Prostředí ve výpočtovém softwaru PT\_VYT pro zadání vlastních venkovních teplot a spotřeb objektu

## Příloha č. 5

Pro vlastní teploty  
vyplň následující  
sloupec

| dny | te |
|-----|----|
| 1   | 8  |
| 2   | 0  |
| 3   | 0  |
| 4   | 0  |
| 5   | 0  |
| 6   | 0  |
| 7   | 0  |
| 8   | 0  |
| 9   | 0  |
| 10  | 0  |
| 11  | 0  |
| 12  | 0  |
| 13  | 0  |
| 14  | 0  |
| 15  | 0  |
| 16  | 0  |
| 17  | 0  |
| 18  | 0  |
| 19  | 0  |
| 20  | 0  |
| 21  | 0  |
| 22  | 0  |
| 23  | 0  |
| 24  | 0  |
| 25  | 0  |
| 26  | 0  |
| 27  | 0  |
| 28  | 0  |

Pro vlastní reálné spotřeby vyplň následující tabulku

| otopné období | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | vlastní | meteororm 1960 | meteororm |
|---------------|------|------|------|------|---------|----------------|-----------|
|               |      |      |      |      |         | 1990           | 2000-2009 |
| spotřeba      | 0    | 0    | 0    | 0    | 0       | 0              | 0         |