

# **Modifikace základního ekvitemního řízení teploty topné vody v SCZT městské aglomerace.**

Modification of the basic equithermal heating water temperature control in central systém of heat supply in town agglomeration.

Bc. Radovan Šamalík



## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radovan Šamalík**  
Osobní číslo: **A11846**  
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Automatické řízení a informatika**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Modifikace základního ekvitermního řízení teploty topné vody v SCZT městské aglomerace.**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši z oblasti řízení distribuce tepelné energie v systémech centrálního zásobování teplem v městské aglomeraci.
2. Analyzujte vybrané varianty řízení distribuce tepla využívající ekvitermní regulace.
3. Navrhněte modifikaci základní ekvitermní regulace, která zahrne vliv časové změny spotřeby v průběhu dne.
4. Ověřte navrženou modifikaci na reálných datech vybraného distributora tepla.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. IBLER, Zdeněk et al. Technický průvodce energetika. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2002, 615 s. ISBN 80-7300-026-11.
2. BALÁTEĚ, Jaroslav. Automatické řízení. 2. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2004, 664 s. ISBN 978-80-7300-148-3.
3. ŠUBRT, Roman. Tepelné izolace v otázkách a odpovědích. 2. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2008, 160 s. ISBN 978-80-7300-234-3.
4. CIKHART, Jiří. Měření a regulace ve vytápění. Praha: SNTL – redakce báňské a strojírenské literatury, 1974, 364 s. ISBN 04-249-84.
5. BROŽ, Karel. Zásobování teplem. Praha: ČVUT, 2002, 217 s. ISBN 80-01-02521-7.
6. CIKHART, Jiří et al. Soustavy centralizovaného zásobování teplem. 2. vyd. Praha: SNTL, 1989, 557 s. ISBN 80-03-00021-1.

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Ing. Lubomír Vašek, CSc.**

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce:

**24. února 2013**

Termín odevzdání diplomové práce:

**11. června 2013**

Ve Zlíně dne 24. února 2013

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



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

## ABSTRAKT

Táto práca sa zameriava na prínos korekcie vykurovacej krivky. V teoretickej časti je popísaný centrálny systém zásobovania tepla a rôzne spôsoby regulácie pre centrálny tepelný zdroj, vrátane regulácie, využívajúcu ekvitermnú krivku. V praktickej časti je obsiahnuté riešenie ktoré upravuje vykurovaciu krivku tak, že k ekvitermnej krivke pridáva časovo závislé korekcie. Uvedené korekcie zaručujú, aby vo vhodných okamihoch bola teplota oproti ekvitermnej krivke zvýšená alebo znížená, aby tak vykurovací systém lepšie rozdeľoval tepelný tok medzi kvantitatívnu zložku (hmotnostný prietok) a kvalitatívnu zložku (teplota teplotnosného média). Tento experiment predstavuje myšlienku a praktický pokus o zmenu vykurovacej krivky pre zavedenie do praxe s jeho overením vykonaním simulácie v závere práce.

Kľúčové slová: ekvitermná krivka, teplo, riadenie, regulácia.

## ABSTRACT

This work is focusing on the contribution of the heating curve compensating. The theoretical part describes the central system of heat supply and other different regulation for the central heat source, including regulation uses equithermal curve. The practical part contains a solution which provides heating curve that the equithermal curve adds time-dependent compensating. Those compensating guarantee that the temperature of equithermal curve in the right times was increasing or decreasing, so as heating systems are dividing heat flux between the quantitative component (mass flow) and a qualitative component (heat transfer fluid). This experiment represents the idea of a practical effort changing heating curve for introduction into practice with verified the execution of simulation in the end of work.

Key words: equithermal curve, heat, control, regulation.

Ďakujem vedúcemu svojej diplomovej práce doc. Ing. Lubomírovi Vaškovi, CSc. za odborné vedenie pri spracovaní mojej diplomovej práce, podnetné pripomienky a pomocné rady udelené pri spracovaní práce. Ďalej, by som sa chcel poďakovať Ing. Viliamovi Dolinayovi, Ph.D. za pomoc pri riešení odborných problémov.

**Prohlašuji, že**

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

**Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ÚVOD.....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>I TEORETICKÁ ČASŤ.....</b>   | <b>10</b> |
| <b>1 CENTRÁLNY SYSTÉM ZÁSOBOVANIA TEPLOM.....</b>                       | <b>11</b> |
| 1.1 DRUHÝ CZT PODĽA SKUPENSTVA A PARAMETROV TEPLONOSNEJ LÁTKY .....     | 13        |
| 1.2 CHARAKTERISTIKA TEPLÁRENSKEJ SÚSTAVY .....                          | 14        |
| 1.3 VÝHODY A NEVÝHODY TEPLÁRENSKÝCH SÚSTAV .....                        | 18        |
| <b>2 REGULÁCIA CENTRÁLNEHO TEPELNÉHO ZDROJA.....</b>                    | <b>20</b> |
| 2.1 REGULÁCIA PODĽA VNÚTORNEJ TEPLoty .....                             | 20        |
| 2.2 REGULÁCIA TEPLoty VYKUROVACEJ VODY .....                            | 21        |
| 2.3 REGULÁCIA PODĽA VONKAJŠEJ TEPLoty (EKVITERMNÁ REGULÁCIA) .....      | 21        |
| 2.3.1 Nastavenie ekvitermickej krivky.....                              | 23        |
| 2.4 EKVITERMNÁ REGULÁCIA SO SPÄTNOU VÄZBOU NA VNÚTORNÚ TEPLotu .....    | 24        |
| 2.5 OPTIMALIZÁCIA REGULÁCIE.....  | 25        |
| 2.6 VYHODNOTENIE ZÁKLADNÝCH REGULÁCIÍ CENTRÁLNEHO TEPELNÉHO ZDROJA..... | 26        |
| <b>II PRAKTICKÁ ČASŤ .....</b>  | <b>28</b> |
| <b>3 ANALÝZA EKVITERMÁLNEJ METÓDY.....</b>                              | <b>29</b> |
| 3.1 MODEL DISTRIBÚCIE A SPOTREBY TEPLA. ....                            | 29        |
| 3.1.1 Popis modelu distribúcie a spotreby tepla.....                    | 29        |
| 3.2 MERNÁ DISTRIBUČNÁ STANICA. ....                                     | 31        |
| 3.3 ANALÝZA NAMERANÝCH DÁT .....  | 32        |
| <b>4 NÁVRH MODIFIKÁCIE EKVITERMNEJ KRIVKY.....</b>                      | <b>37</b> |
| 4.1 NÁVRH PRE MODIFIKÁCIU RIADENIA .....                                | 37        |
| 4.2 RIEŠENIE MODIFIKÁCIE EKVITERMNEJ KRIVKY .....                       | 38        |
| 4.2.1 Modifikácia priebehu hmotnostného prietoku .....                  | 39        |
| 4.2.2 Modifikácia priebehu vykurovacej teploty .....                    | 42        |
| <b>5 SIMULÁCIA EXPERIMENTU PRI ZMENE TEPLoty.....</b>                   | <b>45</b> |
| 5.1 VYHODNOTENIE SIMULÁCIE MODIFIKOVANEJ VYKUROVACEJ TEPLoty .....      | 45        |
| <b>ZÁVER .....</b>  | <b>49</b> |
| <b>ZÁVER V ANGLIČTINE.....</b>  | <b>51</b> |
| <b>ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY.....</b>                                  | <b>53</b> |
| <b>ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....</b>                        | <b>55</b> |
| <b>ZOZNAM OBRÁZKOV .....</b>  | <b>56</b> |
| <b>ZOZNAM TABULIEK .....</b>  | <b>57</b> |

## ÚVOD

Veľa distribútorov tepla používa ekvitermickú krivku pre výpočet teploty vykurovacej vody. V tomto systéme je teplota vody prepojená s hodnotou vonkajšej teploty. Zo systému vieme, že požiadavky na vykurovanie počas dňa sa menia, ale nie len v závislosti od vonkajšej teploty, ale taktiež čas má dôležitú úlohu. Príprava vykurovacej krivky je vhodná vo väčšine úloh vykurovacej sústavy. Cieľom je určiť teplotu vykurovacej vody, aby zabezpečovala dostatočné množstvo tepla pre spotrebiteľov, ale aj pre odstránenie zbytočných strát v potrubí siete a taktiež používala minimum energie pre dopravu vykurovacieho média od zdroja k spotrebiteľovi. Vyššia teplota zvyšuje teplotné straty v prenosovom médiu, v opačnom prípade kde médium s nízkou teplotou neprenáša toľko energie, a preto je potrebné zvýšiť jeho množstvo. Toto zvýšenie množstva však predraží náklady, ktoré súvisia s dopravou. Jednoduchou úvahou dôjdeme k myšlienke, že pri stanovení vhodnej vykurovacej krivky, je potrebné nájsť optimálny pomer medzi teplotou vykurovacej vody a jej množstvom. Hodnoty oboch parametrov sú závislé od času a predovšetkým na systéme, kde sa teplotné médium prepravuje cez dlhé vzdialenosti, a ma časovo dôležitú úlohu.

V praxi však vykurovací krivka je často experimentálna zovšeobecňuje tepelné požiadavky v systéme, počas dňa a v určitom čase, zvyčajne sa jedná o deň a noc.

Táto práca sa bude venovať len systémom so základnou vykurovacou krivkou, ktorá má tvar priamo úmerný hodnote vonkajšej teploty. Tento spôsob riadenia vykurovacej krivky možno označiť za základný spôsob ekvitermnej regulácie

V praktickej časti bolo hlavnou myšlienkou ukázať zlepšenie korekčnej krivky v závislosti na špecifických obdobiach dňa. Toto obdobie zvyčajne predstavuje rannú alebo večernú špičku. Vhodné parametre nie je ľahké určiť, pretože spotreba tepla sa odzrkadľuje od správania užívateľa a vonkajšie počasie priamo pričíta správanie ako náhodné. Experiment potvrdil niektoré základné väzby v systéme tepelnej distribúcie, ktoré budú následne ukázané. Máme niekoľko možných spôsobov regulácií pre modifikáciu vykurovacej krivky. Veľa z nich je aplikovaných v praxi. Takto upravené krivky sú využívané napríklad u moderných kotlov pre vykurovanie v rodinných domoch. Výsledná teplota vykurovacej vody je zväčša vypočítaná z vonkajšej teploty a aktuálnej priestorovej teploty. Sofistikovanejšie riešenia rozširujú počítanie podľa faktoru času. Takýto faktor predstavuje



časové úseky: deň, noc, víkend a tak ďalej. Spotreba tepla je rozdielne načasovaná pre školy, obchody, továrne, či obytné domy.

Práca ukazuje ako môžeme nepriamo ovplyvňovať chovanie jednotlivých veličín zmenou niektorých zo vstupov. Systém dodávky a spotreby tepla vychádza z kvalitatívne – kvantitatívnych princípov a teda prípadné navýšenie teploty vykurovacej vody je obecné schopné vyvolať zníženie prietoku množstva a naopak. Inými slovami, požiadavok na zmenu prietoku množstva (zníženie, zrovnomenenie, aj) ide realizovať vhodnou voľbou teploty vykurovacej vody. Ako už bolo uvedené, na tomto predpoklade stavia taktiež táto práca. Dôležité je sa držať pravidiel, že zmena jednej z premenných ovplyvní ostatné a taktiež berieme do úvahy všetky fyzické obmedzenia každej premennej v systéme.

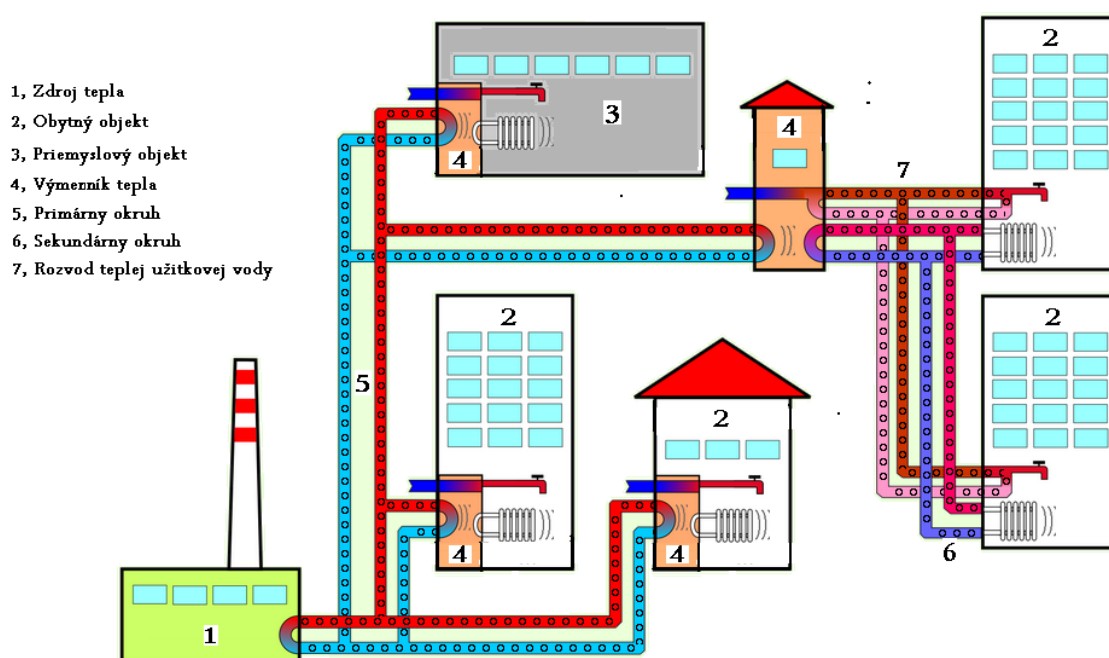
## **I. TEORETICKÁ ČASŤ**

## 1 CENTRÁLNÝ SYSTÉM ZÁSOBOVANIA TEPLOM

Pod pojmom teplárenstvo budeme chápať tú časť odvetvia, energetiky, pri ktorej je krytie potrieb tepla bytových domov, objektov občianskej vybavenosti a priemyslových podnikov zaisťované prostredníctvom sústav centralizovaného zásobovania teplom (SCZT).

- Systavy centralizovaného zásobovania teplom sú tvorené vzájomne prepojenými zdrojmi tepla, teplotnými sieťami, poprípade predávajúcimi stanicami a vnútornými spotrebiteľskými zariadeniami.
- Zdroje SCZT sú samostatne umiestené energetické výrobné, ktorých aspoň jeden produkt tvorí teplo, ktoré je dodávané do tepelných sietí.
- Tepelné siete sú súbory zariadení určených pre dopravu tepla zo zdrojov k odberateľom, poprípade k prepojeniu zdrojov medzi sebou.
- Predávajúce stanice sú zariadenia pre úpravu parametrov teplonosnej látky na hodnoty požadované vnútornými spotrebiteľskými zariadeniami.
- Vnútorné spotrebiteľské zariadenie (spravidla vykurovacie systavy a rozvody TUV) sú určené pre vnútorné rozvody tepla v objektoch, alebo v súboroch objektov jedného odberateľa. [8]

Na nasledujúcom obrázku (Obr. 1) je znázornené principiálne technologické schéma typického usporiadania SCZT



Obr. 1. Principiálne technologické usporiadanie pre SCZT [9]

Sústava zásobovania teplom pozostáva z týchto objektov:

- Zdroj tepla vyrába tepelnú energiu za účelom výroby dodávkového tepla pre vytápanie objektov a ohrev teplej úžitkovej vody pre odberateľa, poprípade aj výroby elektrickej energie v kombinovanom cykle výroby.
- Obytný objekt je bytový alebo rodinný dom vytápaný priamo z primárneho okruhu. Súčasťou objektu poprípade jednotlivých bytov je výmenníková stanica, ktorá zabezpečuje ohrev teplej úžitkovej vody.
- Priemyselný objekt je továreň vytápaná z primárneho rozvodu. Súčasťou objektu je výmenníková stanica, ktorá zaisťuje ohrev teplej úžitkovej vody. Priamo z primárneho okruhu môže byť takisto odoberané teplo potrebné pre prevádzku technológií v továrni.
- Výmenník tepla slúži pre predávanie tepelnej energie z prenosového média uzatvoreného primárneho vykurovacieho okruhu do prenosového média uzatvoreného sekundárneho vykurovacieho okruhu a do okruhu rozvodu teplej úžitkovej vody. Je umiestnená buď v samostatnom objekte alebo je súčasťou jedného z vykurovacích objektov.
- Primárny okruh je uzatvorený okruh prenosového média pre prenos tepelnej energie pre vytápanie objektov a ohrev teplej úžitkovej vody pre odberateľa. Realizuje sa

pomocou predizolovaného potrubia, poprípade vedie vo vykurovacích kanáloch alebo ako nadzemné vedenie.

- Sekundárny okruh je uzatvorený okruh prenosového média pre prenos tepelnej energie pre vytápanie objektov. Realizuje sa pomocou predizolovaného potrubia, poprípade vedie vo vykurovacích kanáloch.
- Rozvod teplej úžitkovej vody realizujeme ako u primárneho okruhu pomocou predizolovaného potrubia, poprípade vedie vo vykurovacích kanáloch alebo ako nadzemné vedenie. [9]

### 1.1 Druhy CZT podľa skupenstva a parametrov teplonosnej látky

Podľa skupenstva a parametrov teplonosnej látky, ktorou je chemicky upravená voda, môžeme rozlišovať SCZT na:

- Parné
- Horúcovodné
- Teplovodné

V zdrojoch parnej SCZT je vyrábaná para, ktorá je pri parametroch maximálne 1,8 MPa a 240 °C dodávaná do parnej tepelnej siete, z ktorých sú realizované buď priame odbery pary pre účel technologický, alebo sú to nepriame odbery tepla prostredníctvom predávajúcich staníc. Prúdenie pary v parovodoch dovoľuje jej tlaková energia, po predaní tepla odberateľom je zostalý kondenzát dopravený späť do zdrojov pomocou čerpadiel a kondenzačných rúr, poprípade vlastným tlakom, alebo samospádom. [8]

V horúcovodných zdrojoch SCZT je teplonosná látka (voda) ohrievaná na požadovanú teplotu (max. 180 °C) a výstupné vetvy horúcovodnej tepelnej siete je dopravované k odberateľom – predávajúcim staniciam. Z predávajúcich staníc, ochladená voda, prúdi návratnou vetvou späť do zdroju. Cirkulácia obehovej vody v tepelnej sieti je zaistená obehovými čerpadlami situovanými spravidla v zdrojoch. Horúcovodné tepelné siete sú navrhované na konštrukčné tlaky až 2,5 MPa a obvykle sú označené ako primárne. [8]

V teplovodných SCZT je dopravný proces tepla od zdroja ku spotrebiteľovi obdobný, ako v horúcovodných sústavách, s tým rozdielom, že na výstupe sú parametre teplonosnej látky zo zdroja nižšie (teplota do 110 °C, konštrukčné tlaky do 1,6 MPa). Pre možnosť priameho

napojenia vnútorných spotrebiteľských zariadení na teplovodnú sieť sú obvykle maximálne parametre teplotnosnej látky zvolené ešte nižšie (maximálne 95 °C - 0,6 MPa). Ak je zdrojom takejto siete predávajúca stanica, ktorá je napájaná z primárneho okruhu, hovoríme o sekundárnej teplotnej sieti. [8]

| TYP SOUSTAVY CZT<br>PARAMETR SOUSTAVY CZT |                  | PARNÍ<br>SCZT                      | HORKOVODNÍ<br>SCZT                 | TEPLOVODNÍ<br>SCZT           |
|---|------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Druh zdroje :                             | Typický<br>Běžný | teplárna<br>elektrárna,<br>výtopna | teplárna<br>elektrárna,<br>výtopna | výtopna<br>malá teplárna     |
| Výkon soustavy :                          | Typický<br>Běžný | 70 MWt<br>20 až 200 MWt            | 150 MWt<br>50 až 300 MWt           | 4 MWt<br>2 až 8 MWt          |
| Rozsah tepelných sítí :                   | Typický<br>Běžný | 10 km<br>2 až 40 km                | 25 km<br>5 až 80 km                | 1 km<br>0,5 až 3 km          |
| Provedení tepel. sítí :                   | Typické<br>Běžné | dvoutrubkové<br>jednotrubkové      | dvoutrubkové<br>třítrubkové        | čtyřtrubkové<br>dvoutrubkové |
| Uložení tepelných sítí :                  | Typické<br>Běžné | nadzemní<br>podzemní               | podzemní<br>nadzemní               | podzemní                     |
| Teploty v přívodní větvi :                | Typické<br>Běžné | 220 °C (pára)<br>180 až 240 °C     | 130 °C<br>110 až 160 °C            | 80 °C<br>70 až 90 °C         |
| Teploty ve vratné větvi :                 | Typické<br>Běžné | 60 °C (kondenzát)<br>40 až 70 °C   | 60 °C<br>50 až 80 °C               | 45 °C<br>40 až 60 °C         |
| Konstrukční tlaky v síti :                | Typické<br>Běžné | 1,2 MPa (pára)<br>0,8 až 2,4 MPa   | 1,6 MPa<br>1,6 až 2,5 MPa          | 0,6 MPa<br>0,4 až 0,6 MPa    |
| Druh odběratelů :                         | Typický<br>Běžný | průmysl<br>byty, vybavenost        | byty, vybavenost<br>průmysl        | byty<br>vybavenost           |
| Druhy odběr. zařízení :                   | Typický<br>Běžný | přímé odběry<br>objektové PS       | okružkové PS<br>objektové PS       | přímé odběry<br>objektové PS |

Tab. 1. Základné typy a parametre teplárenských sústav [8]

## 1.2 Charakteristika teplárenskej sústavy

Každá sústava centralizovaného zásobovania teplom je charakteristická svojimi:

- Energetickými parametrami (spotreby, výroby a dodávky energie).
- Technickými parametrami (typy a parametre inštalovaných zariadení).
- Ekologickými parametrami (produkciou emisií a odpadov znečisťujúcich látok do ovzdušia).
- Ekonomickými parametrami (nákladmi a tržbami, záväzkami a pohľadávkami). [8]

Hlavnými energetickými parametrami, pre teplárenské sústavy sú výroby a dodávky tepla a s tým súvisiace výroby a dodávky elektrickej energie.

Teplo dodávané zo zdrojov SCZT je v sústavách spotrebovávané pre účely:

- Uspokojovanie potrieb odberateľov.
- Krytie strát vo výmenníkových staniciach a rozvodoch.

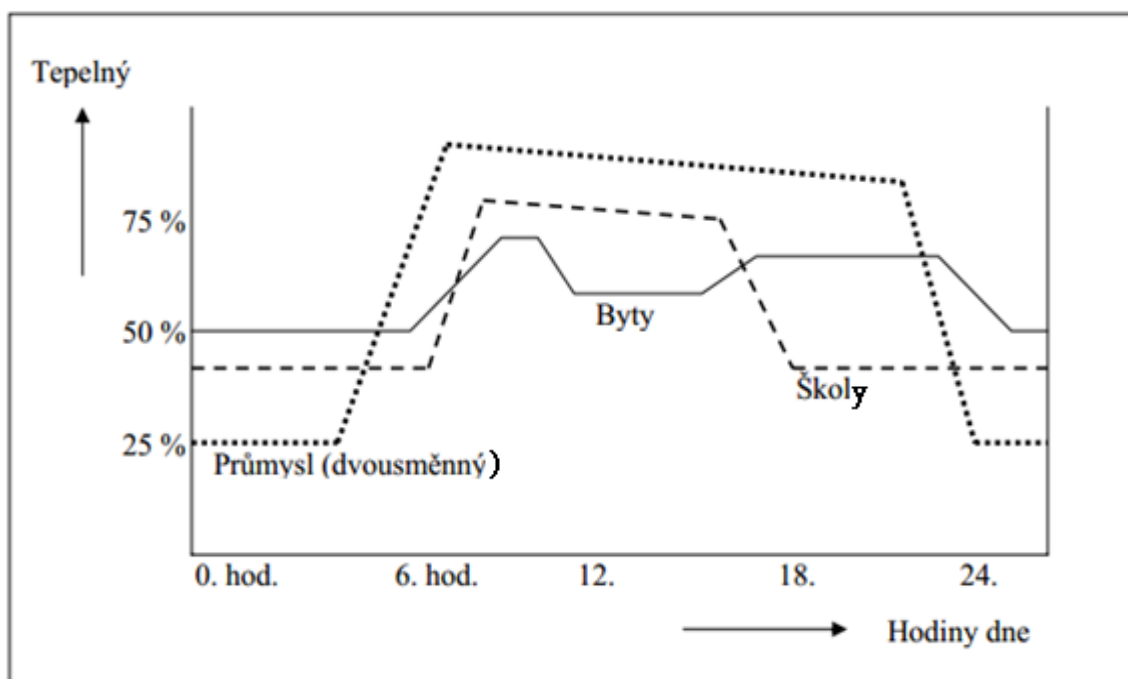
Ak sú straty v rozvodoch, tak dostaneme dva javy, a to prestup tepla a únik teplonosného média. Veľkosť strát prestupom tepla závisí od vnútornej teploty teplonosného média, hrúbke a kvalite tepelnej izolácie a na teplote a charakteru okolitého prostredia. Veľkosť strát v dôsledku úniku teplonosného média závisí na tesnosti potrubia respektíve na tesnosti armatúr a kompenzátorov, na tesnosti upchávok čerpadiel, na tesnosti teplosmenných plôch v predávajúcich staniciach, u parných sústav potom ešte na spôsobe nakladaní s kondenzátom. [8]

Teplo je prostredníctvom SCZT dodávané trom hlavným typom odberateľov, ktorými sú:

- Bytové domy (obytné súbory, nájomné a rodinné domy).
- Občianska vybavenosť (úrady, nemocnice, školy, obchody, športoviská, atd.).
- Priemyselné podniky (výrobné a montážne haly, administratívne budovy, sklady).

U bytov, vybavenosti a priemyslu sa teplo využíva pre vykurovanie a prípravu teplej úžitkovej vody (TUV), pre vetranie a klimatizáciu (v podmienkach SR iba výnimočne) a v priemysle aj pre technologické účely. Potreby tepla pre vytápanie sú ovplyvňované najmä vonkajšou teplotou, tepelne technickými vlastnosťami obvodových plášťov budov a zvoleným vykurovacím režimom pre daný objekt. [8]

Na obrázku (Obr. 3) sú typické priebehy denných potrieb tepla pre vykurovanie u rôznych typov odoberateľov.



Obr. 2. Priebehy denných potrieb tepla pre vykurovanie u rôznych odberateľov [8]

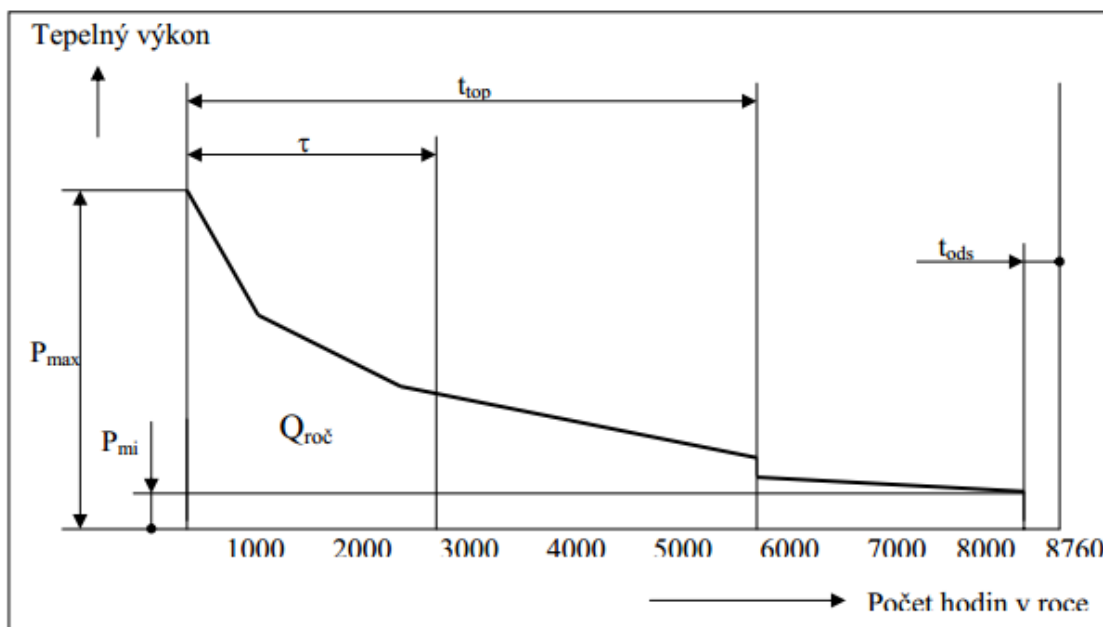
Najrovnomernejšie spotreby (v tomto prípade okrem straty tepla v rozvodoch) prejavujú technologické odbery. Odbery tepla pre technologické účely sú typické pre parné SCZT, tu je para využitá napríklad v potravinárskom priemysle (konzervárne, mliekarne, mäsokombináty), v strojárstve, chemickom priemysle, ale taktiež napríklad v nemocniciach (práčovne, kuchyne, sterilizácie).

Pre prevádzku zdrojov SCZT nie sú dôležité ani tak odberové diagramy pre jednotlivých spotrebiteľov, ako výsledok vzniknutý posčítaním priebehov všetkých odberov, a prejaví sa efekt súdobosti (rozloženie špičiek odberov, štatisticky, do dlhšieho časového pásma) a pre horúcovodné sústavy CZT i efekt rozdielných dopravných oneskorení (požiadavka odberateľa lokalizovaného bližšie ku zdroju sa prejaví skorej, ako požiadavka vzdialeného odberateľa).

Priebehy potrieb tepla za celý rok ide znázorniť, buď formou diagramov doby trvania teplotného výkonu, alebo vo forme týždenných a tiež mesačných diagramov priemerných potrieb. Mesačné, alebo týždenné diagramy priemerných potrieb tepla sú časovo súsledné vydané namerané hodnoty (odčítania) výrob alebo dodávok tepla, ktoré nám dajú spätný obraz o súlade plánu so skutočnosťou. [8]



Na nižšie uvedenom diagrame (Obr. 4) doby trvania potrieb tepla možno demonštrovať niektoré typické základné ukazovatele teplárenských sústav.



Obr. 3. Diagram doby trvania potrieb tepla [8]

Vysvetlivky pre jednotlivé ukazovatele použité v obrázku (Obr. 4) podľa literatúry [8]

- $Q_{\text{roč}}$  ročná celková dodávka tepla do SCZT (tvorí ju dodávka tepla pre vykurovanie, pre prípravu TUV, pre krytie strát v rozvodoch a prípadne i dodávka tepla pre technologické účely alebo chladenie a klimatizáciu)
- $P_{\max}$  maximálne výkonné zaťaženie teplárenskej sústavy (spravidla nastáva pri najchladnejších pracovných dňoch v roku v dobe ranných odberových špičiek)
- $P_{\min}$  minimálne výkonové zaťaženia teplárenskej sústavy (nastáva v letnom období, spravidla vo voľných dňoch a v dobe dovoleník v nočných hodinách a často sa rovná len momentálnemu príkonu strát tepla v rozvodoch)
- $\tau$  doba využitia maximálneho tepelného výkonu (udáva dobu, za ktorú by bola realizovaná celková ročná dodávka tepla  $Q_{\text{roč}}$  pri maximálnom zaťažení teplárenskej sústavy  $P_{\max}$ )
- $t_{\text{top}}$  doba trvania vykurovacej sezóny (t.j. doba, počas ktorej je v zásobovaných objektoch teplo využívané pre vykurovanie)

$t_{ods}$  doba odstávky v letnom období (t.j. doba, počas ktorej sú dodávky tepla prerušené z dôvodov plánovaných opráv, alebo revízií zariadení)

Prehľad obvyklých hodnôt vyššie uvedených ukazovateľov, použitých na obrázku (Obr.4), ktoré charakterizujú priebehy dodávok tepla.

|                    |          | Větší průmyslová parní SCZT | Rozsáhlá městská parní SCZT | Rozsáhlá městská horkovodní SCZT | Menší okrsková horkovodní SCZT | Menší sídlištní teplovodní SCZT |
|--------------------|----------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| $Q_{roč}$<br>v tom | celkem   | 100 %                       | 100 %                       | 100 %                            | 100 %                          | 100 %                           |
|                    | otop     | 17 %                        | 36 %                        | 66 %                             | 68 %                           | 69 %                            |
|                    | TUV      | 5 %                         | 12 %                        | 22 %                             | 24 %                           | 25 %                            |
|                    | technol. | 60 %                        | 30 %                        | -                                | -                              | -                               |
|                    | ztráty   | 18 %                        | 22 %                        | 12 %                             | 8 %                            | 6 %                             |
| $P_{max}$<br>v tom | celkem   | 100 %                       | 100 %                       | 100 %                            | 100 %                          | 100 %                           |
|                    | otop     | 36 %                        | 59 %                        | 84 %                             | 84 %                           | 83 %                            |
|                    | TUV      | 7 %                         | 10 %                        | 11 %                             | 13 %                           | 15 %                            |
|                    | technol. | 45 %                        | 20 %                        | -                                | -                              | -                               |
|                    | ztráty   | 12 %                        | 11 %                        | 5 %                              | 3 %                            | 2 %                             |
| $\tau$             | průměr.  | 4 500 hod.                  | 3 200 hod.                  | 2 500 hod.                       | 2 300 hod.                     | 2 100 hod.                      |
| $t_{top}$          | max.     | 270 dnů                     | 265 dnů                     | 260 dnů                          | 265 dnů                        | 270 dnů                         |
|                    | průměr.  | 255 dnů                     | 255 dnů                     | 250 dnů                          | 250 dnů                        | 250 dnů                         |
|                    | min.     | 225 dnů                     | 230 dnů                     | 230 dnů                          | 225 dnů                        | 220 dnů                         |
| $t_{ods}$          | průměr.  | 16 dnů                      | 9 dnů                       | 9 dnů                            | 5 dnů                          | 5 dnů                           |

Tab. 2. Obvyklé hodnoty základních ukazovatelů, pro průběh dodávek tepla. [8]

### 1.3 Výhody a nevýhody teplotních systémů

Teplotní systémy, které jsou charakteristické souborem svých výhod a nevýhod se v každé SCZT projevují různě výrazně či různě intenzivně.

Ku třem hlavním výhodám teplotních systémů patří:

- Vyšší účinnost energetických premii v zdrojích, hlavně v souvislosti s kombinovanou výrobou elektrické energie a tepla.
- Možnost využívání různých, i v méně hodnotných druhů paliv, t.j. mazutů, dehtů, uhlí, komunálních či bezpečných průmyslných odpadů, možnost využívání zvyškového tepla z technologických procesů, nebo možnost celoročního využívání obnovitelných a netradičních energetických zdrojů.
- Příznivý dopad na životní prostředí v důsledku kontrolovaného nakládání s palivy, vodou a odpady, čištění spalin a jejich vypouštění do vyšších vrstev atmosféry a v důsledku kontinuálního monitoringu emisí znečišťujících látek.

K trom hlavným nevýhodám teplárenských sústav patrí:

- Straty v doprave a v distribúcii tepla.
- Vyšší investičný náročnosť teplárenských stavieb.
- Zložitejší spôsob merania, riadenia a regulácie.

## 2 REGULÁCIA CENTRÁLNEHO TEPELNÉHO ZDROJA

V tejto kapitole sú uvedené základné spôsoby regulácie, ktoré majú svoje výhody a nevýhody. Poznáme veľa spôsobov regulácií vykurovacieho systému, ktoré sa môžu obecné uplatniť v objektoch. Sú také, čo majú priamu väzbu na teplotu v miestnosti, a niektoré túto väzbu nemajú. Väčšinou sa v praxi stretávame so závislosťou na teplote vzduchu v miestnosti, ale táto práca je zameraná na závislosť od vonkajšej teploty vzduchu. Regulácia bez priamej väzby na teplotu v miestnosti sú oveľa jednoduchšie a preto pre niektoré stavby aj výhodnejšie. Všetky tieto základné regulácie je možné nastaviť pre požadované výsledky vykurovania a ohrevu teplej úžitkovej vody v objektoch.

### 2.1 Regulácia podľa vnútornej teploty

Táto metóda nám prináša presnejší výsledok, ako metóda regulácie teploty vykurovacej vody, čo sa týka teploty v miestnosti, a teda dostáva obyvateľ domu, väčší komfort. Možná je kombinácia tiež s vonkajším snímačom, ktoré pri náhlej zmene vonkajšej teploty, dá regulátoru pokyny pre protiopatrenie s dostatočným predstihom, skorej ako sa vyčerpá akumulačná schopnosť budovy. U tohto spôsobu regulácie sú slabiny pri vytápaní väčších objektov. Výkon kotla je možné regulovať priamo, ale pre zložitejšie sústavy, ktoré majú viac rozvodov je vhodnejšie využiť reguláciu teploty vstupnej vody do vykurovacej sústavy, a zdroj tepla si regulovať zvlášť. To je možné uskutočniť napríklad premiešavaním ochladenej vratnej vody do vody vystupujúcej z kotla. Tento spôsob má ďalšie výhody, a to ohrievanie TUV (teplej úžitkovej vody). Pokiaľ by som požadoval istú teplotu TUV, napríklad 65°C, a využijeme k ohrievaniu TUV z vykurovacej sústavy, potom bude minimálna teplota vody vo vykurovacej sústavy vyššia ako 65°C, k vytápaniu miestnosti na určenú hodnotu, ale potrebujeme vodu s nižšou teplotou, tento problém vyriešime jednoduchým spôsobom, a to tak, že opäť primiešame studenú vratnú vodu. Ak chceme presnú reguláciu vo viac miestnostiach, tak vybavíme vykurovacie telesá v každej jednotlivej miestnosti vlastným senzorom a regulátorom, ktorý bude regulovať prietok radiátorom. [11]

## 2.2 Regulácia teploty vykurovacej vody

Proces spaľovania v kotle je riadený závislosťou na teplote vody v prívodnom potrubí vykurovacej sústavy. Teplota vykurovacej vody sa drží konštantnej hladiny. Žiadaná hodnota je nastavená podľa počasia (vlhkosť, teplota, atď.). Regulácia je zaobstarávaná senzorom, ktorý meria teplotu vody na vstupe do vykurovacej sústavy, na základe tohto faktu je napríklad upravený prívod plynu v plynovom kotle, privretá alebo pootvorená klapka u kachiel na tuhé palivo. Tento druh regulácie neobsahuje väzbu na teplotu v miestnosti a výsledok teda bude závisieť na nastavení vhodnej teploty užívateľom, avšak je to veľmi jednoduchá regulácia. [11]

## 2.3 Regulácia podľa vonkajšej teploty (Ekvitermná regulácia)

Vonkajšia teplota má najväčší vplyv na výšku potrebného tepla vo vytápanej budove. Tato regulácia reguluje teplotu vykurovacej vody na základe vonkajšej teploty, závislosť medzi teplotou vykurovacej vody a teplotou vonkajšej nazývame tzv. ekvitermná (vykurovací) krivka. Túto krivku definujeme iba pre jednu teplotu v miestnosti, napríklad pre 20°C, pokiaľ sa vyžaduje vykurovanie na inakšiu teplotu potom sa ekvitermná krivka paralelne posunie. Jej tvar je daný použitými vykurovacími plochami, vlastnosťami samotného vykurovacieho objektu a projektovaným teplotným spádom.

Ekvitermná krivka zaisťuje rovnováhu medzi výrobou a spotrebou tepla, a spravidla sa vypočíta podľa projektu, avšak je potrebné ju doladiť ešte v praxi. Veľmi ľahko ide krivku upraviť pomocou zmeny sklonu, alebo jej posunutím.

Regulovať teplotu vykurovacej vody, ide reguláciou spaľovania v kotle, primiešavaním studenej vratnej vody. Teplotný senzor, ktorý meria vonkajšiu teplotu sa umiestňuje obvykle na fasádu budov, ďalší senzor je umiestnený na výstupe vody z kotla.

U väčších objektov môžeme rešpektovať taktiež polohu miestností vzhľadom k svetovým stranám. Potom môžeme rozdeliť vykurovaciu sústavu na dve alebo viac častí (západná / východná a pod.), a regulovať ju zvlášť. Aby nebola regulácia náchylná na krátke teplotné výkyvy, možno použiť upravenie aktuálnej vonkajšej teploty na geometrickú vonkajšiu teplotu. Pre vylepšenie regulácie môžeme uvažovať okrem teploty taktiež silu slnečného žiarenia, vlhkosť, silu a smer vetru. Ekvitermná regulácia je v dnešnej dobe najbežnejšia. [11]

Ukážka vytvorenia ekvitermnej krivky s použitím vzorcov podľa [12].

Ochladenie teplonosnej látky:

$$\Delta t = (t_{w1,max} - t_{w2,max}) * \frac{t_e - t_i}{t_{e,min} - t_i} \quad (1)$$

Stredná teplota teplonosnej látky:

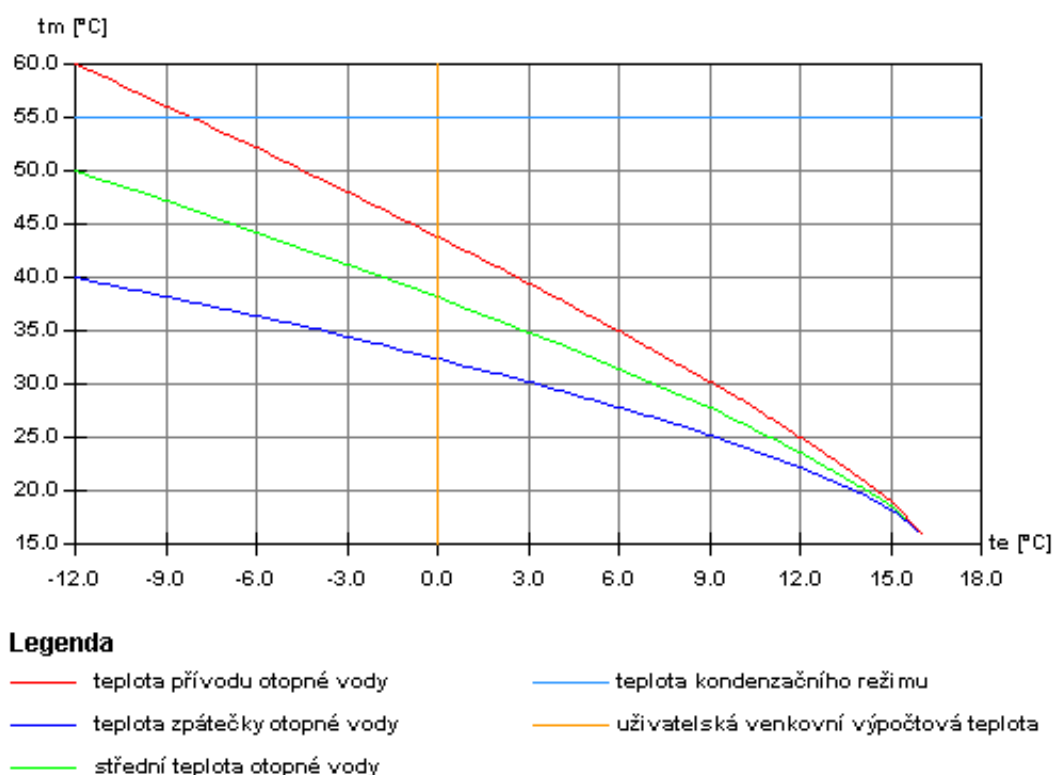
$$t_m = t_i + \left( \frac{t_{w1,max} + t_{w2,max}}{2} - t_i \right) * \left( \frac{t_e - t_i}{t_{e,min} - t_i} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

Kde

|              |  |
|--------------|--|
| $\Delta t$   | ochladenie teplonosnej látky                 |
| $t_m$        | stredná teplota teplonosnej látky            |
| $t_i$        | vnútorná výpočtová teplota                   |
| $t_{e,min}$  | minimálna vonkajšia výpočtová teplota        |
| $t_{w1,max}$ | maximálna teplota prívodu vykurovacej vody   |
| $t_{w2,max}$ | maximálna teplota spiatočky vykurovacej vody |
| $n$          | teplotný exponent sústavy                    |

Pre teplotný exponent sústavy platí, že hodnota je určená podľa druhu vykurovacieho telesa. Jeho rozptyl je od 1,10 pre podlahovú vykurovaciu plochu, až 1,50 pre konvektory. Pri kombinácii viacerých druhov vykurovacích telies, budeme uvažovať teplotný exponent sústavy, ako priemernú hodnotu jednotlivých teplotných exponentov.

Na obrázku (Obr. 4) je vypočítaná ekvitermná krivka pre vykurovanie, ktorá vychádza z rovníc (1) a (2). Popisuje prírodnú vykurovaciu vodu, spätočnú vykurovaciu vodu a strednú teplotu vykurovacej vody v závislosti na vonkajšej teplote. Bol použitý pomocný program s názvom Ekvitermní křivky, online dostupný na [12], a pracuje pomocou Java skriptu. Vykresľuje po zadaní žiadanych parametrov ekvitermnú krivku.



Obr. 4. Priebeh teplôt vykurovacej sústavy podľa vonkajšej teploty [12]

Ekvitermná krivka popisuje závislosť teploty vykurovacej vody v okruhu výmenníkovej stanice na aktuálnej vonkajšej teplote a pomáha udržať konštantnú teplotu vo vykurovacích priestoroch a to aj pri meniacej sa vonkajšej teplote. Každá výmenníková stanica a objekt odovzdávacej stanice disponuje tabuľkami pre nastavenie vhodnej teploty priestorov na základe vonkajšej teploty. V tejto práci sa nachádza v praktickej časti experiment na modifikáciu ekvitermnej krivky pre zefektívnenie tejto metódy. Pri prechode z nočného útlmu do dennej špičky vznikajú rôzne nezrovnalosti a pre úsporu energie ich treba modifikovať.

### 2.3.1 Nastavenie ekvitermickej krivky

Nastavenie robíme v závislosti od dennej a nočnej korekcie. Hlavnou zložkou pre nastavenie korekcie je úspora nákladov na vytápanie, a posúvame s krivkou smerom nahor a nadol.

- Denná korekcia v praxi znamená, že sa jedná o paralelný posun vykurovacej krivky behom denného režimu, keďže nám môže prísť k situácii, že v závislosti na vonkajšej teplote, podľa nastavenej krivky budova nebude optimálne vykurovaná. Ak nie je vykurovacia krivka optimalizovaná, môže nám prísť k situácii, keď v teplejších dňoch v miestnosti je zima a v mraze je miestnosť prekuréná. V tomto prípade sa snažíme o postupné znižovanie sklonu krivky v skokoch a vždy pritom zdvíhame dennú korekciu o 2-4 °C.
- Nočná korekcia je paralelne posunutie vykurovacej krivky behom nočného režimu. Keď si nastavíme nočnú korekciu ako zápornú hodnotu, tak dostaneme ako odozvu v nočných hodinách s odpovedajúcim spôsobom zníženie teploty vykurovacej vetvy. Takto šetríme energiu, hlavne v nočných hodinách, ale v domoch aj počas dňa, ak nie je nikto doma.
- Zrýchlená komfortná teplota je keď ju pridávame k dennej nastavenej korekcii. Takto dosiahneme rýchlejšie vytopenie, čiže vyššiu teplotu v izbe, každý deň a v určitom čase.  
Ako príklad nám môže slúžiť porovnanie pre dennú a nočnú korekciu. Ak dennú korekciu máme 5°C a nočnú korekciu -2°C, budú mať za následok referenčnú teplotu vykurovacej vetvy v noci o 7°C nižšiu ako cez deň.

## 2.4 Ekvitermná regulácia so spätnou väzbou na vnútornú teplotu

Nejedná sa čisto o ekvitermnú reguláciu, ale ide o jej modifikovanú podobu. Ekvitermná regulácia je upravovaná na základe teploty v miestnosti. Môžeme rozlišovať dva spôsoby upravenia ekvitermnej regulácie.

Prvým je upravenie ekvitermnej krivky, na základe dlhodobého rozdielu v teplote miestnosti od jej teoretickej hodnoty. Druhý spôsob je krátkodobou záležitosťou, ide o úpravu žiadanej hodnoty v priestore podľa vzorca. [12]

$$t_{i,wk} = t_{i,w} + \frac{K}{2} * (t_{i,w} - t_{i,x}) \quad (3)$$

Kde:

$t_{i,wk}$                       korigovaná teplota v priestore



|           |                                       |
|-----------|---------------------------------------|
| $t_{i,w}$ | požadovaná teplota v priestore        |
| $t_{i,x}$ | momentálna teplota v priestore        |
| $K$       | faktor pre vplyv priestorovej teploty |

Ide teda o paralelne posúvanie ekvitermnej krivky na základe odchýlky teploty v miestnosti od teploty požadovanej. Vplyv odchýlky teplôt je nastavovaný pomocou premennej  $K$ .

## 2.5 Optimalizácia regulácie

Ide o automatické posunutie času pre zapnutie alebo vypnutie vykurovacieho zariadenia. Týmto spôsobom získame v priestore vyššiu poprípadne nižšiu teplotu, a takto dosiahneme úsporu na energiách. Volenie zapnutia a vypnutia kúrenia je tak, aby sme zaručili žiadanú teplotu miestnosti a taktiež, aby bola spotreba, čo najmenšia.

Regulátory využívajú pre optimalizáciu skutočnú teplotu miestnosti, ktorá je získaná za pomoci senzoru teploty miestnosti a taktiež priestorového modelu. Pomocou senzoru vonkajšej teploty zasa získame vonkajšiu teplotu.

- Senzor pre teplotu priestoru - získavame ideálny odhad pre zapnutie a vypnutie vykurovania. Pre optimálne zapnutie a vypnutie, taktiež určenie času je potrebná ekvitermná krivka, ďalej je potrebné trvalo snímať vonkajšiu aj vnútornú teplotu, pričom nám pomáhajú zavedené senzory.
- Priestorový model - nie je zapojený senzor teploty priestoru a optimalizácia funguje na základe priestorového modelu s pevne zadanými hodnotami a maximálnej doby prvého vykurovacieho cyklu dňa.

Pre zníženie nákladov využívame v reguláciách aj tieto ďalšie optimalizácie.

- Rýchle vykúrenie - táto metóda je získaná, ak prepne systém s útlmovej na komfortnú teplotu, a takto je dosiahnutie teploty rýchlejšie. Žiadaná teplota miestnosti je navýšená o nastavovanú hodnotu, dostávame kratšiu dobu vykúrenia.
- Rýchly útlm - pre vykurovací okruh sa čerpadlo vypne, a keď máme zmiešavací okruh, tak zmiešavací ventil bude uzavretý.

- Denná hranica - vykurovania: vykurovanie sa nám zapne/vypne na základe vonkajšej teploty a zabráni reakcii na výkyv vonkajšej teploty cez deň. Jej význam nastáva cez prechodné obdobia, u nás jar a jeseň.
- Minimálna teplota spiatočky - využívaná pri zabránení nízko-teplotnej korózii, ktoré spôsobujú kondenzujúce spaliny, s pomocou navýšenia teploty spiatočky kotla. Pri modernejších kotloch túto metódu už nevyužívame. [6]

## 2.6 Vyhodnotenie základných regulácií centrálného tepelného zdroja

V celej kapitole sú popísané vybrané regulácie pre centrálny tepelný zdroj. Každá regulácia má svoje výhody a nevýhody pre spotrebiteľa. Úsporu energie dosiahneme vtedy, ak používame moderné metódy regulácie. Regulácia vykurovania má za úlohu úsporne a racionálne využiť energiu. Znamená to, že v požadovaný čas, v každej miestnosti zabezpečiť potrebné množstvo tepla.

Výhody a nevýhody pre jednotlivé regulácie:

- Regulácia podľa vnútornej teploty
  - Presnejší, ako regulácia teploty vykurovacej vody.
  - Výkonné kotle sa môžu regulovať priamo.
  - Cez deň sa môže obmedziť dodávka tepla na nočný režim
  - Slabiny pri vytápaní väčších objektov.
  - Používa veľa senzorov
- Regulácia teploty vykurovacej vody
  - Veľmi jednoduchá regulácia a nenáročná regulácia.
  - Senzor je väčšinou aj s regulátorom inštalovaný v prívodnej trubke a podľa toho reguluje teplotu.
  - Používa sa výnimočne
  - Regulátory nie sú schopné regulovať súčasne teplotu TUV
  - Nemá väzbu na teplotu v miestnosti.
  - Vhodnú teplotu nastavuje užívateľ.
- Ekvitermná regulácia podľa vonkajšej teploty
  - Pri domových objektoch si teplotu nemôže regulovať spotrebiteľ osobitne.
  - Krivka sa dá modifikovať a prispôsobiť pre ušetrenie nákladov.

- Najbežnejšie používaná regulácia hlavne pri SCZT.
- Pre každý objekt zvlášť regulátor.
- Pri domových objektoch si teplotu nemôže regulovať spotrebiteľ osobitne, ale je už krivka pevne nastavená.
- Ekvitermná regulácia so spätnou väzbou na vnútornú teplotu
  - Nejedná sa o čisto ekvitermné riadenie.
  - Regulátor meria aktuálnu teplotu v referenčnej miestnosti (priestore) a usmerňuje vyššie uvedenú reguláciu.
  - Vplyv teploty priestoru môžeme rozdeliť na dve kategórie (dlhodobá a krátkodobá).
  - Dôležitou súčasťou tohto mechanizmu je faktor vplyvu priestorovej teploty (KOR), ktorým je možno priamo ovplyvniť chovanie sústavy (zvýšiť, resp. stlmiť vplyv teploty priestoru).
  - V mnohých prípadoch mechanizmus vplyvu teploty priestoru nie je jasný.

Z popisu všetkých regulácií je zrejmé, že každá reguláciu má svoje výhody a nevýhody. V praktickej časti bude riešená modifikácia ekvitermnej regulácie. Úlohou bude ešte viac zefektívniť tento typ regulácie.

## **II. PRAKTICKÁ ČASŤ**

### 3 ANALÝZA EKVITERMÁLNEJ METÓDY

V tejto kapitole bude popísaný model distribúcie a spotreby tepla, výmenníková stanica s ktorej pochádzajú dáta pre experiment a analýza vybraného vykurovacieho dňa. Táto práca sa zaoberá s najrozšírenejšou ekvitermnou metódou pre vykurovanie. Snahou je navrhnúť úpravy riadenia teploty teplonosného média a model bude využitý vo výmenníkovej stanici. Z dostupných dát z výmenníkovej stanice Veľká dlážka v meste Přerov hodnotíme ďalšie kroky pre riešenie práce.

#### 3.1 Model distribúcie a spotreby tepla.

Model môžeme ako celok zostaviť z modelov jednotlivých objektov, ktoré nám budú vytvárať vlastnú distribučnú sieť. Tieto čiastkové modely, ktoré sú vo forme deterministických matematických modelov, sú spracovávané tak, že nám zachytávajú základné fyzikálne zákony z danej oblasti. Náhodnú zložku chovania systému, ktorá každopádne existuje v reálnom systéme, potom je v modeli zachytená pomocou súboru parametrov, ktoré určíme pomocou analýzy historických prevádzkových dát.

Model je schopný určiť spotrebu tepla najmä pre vykurovací systém v závislosti od nameraných dát. Model bol zostavený z [13] na našej fakulte v rámci riešenia projektu Inteligentní system pro řízení energetického systemu mestske aglomerace.

##### 3.1.1 Popis modelu distribúcie a spotreby tepla

Tento model je schopný určiť spotrebu tepla vykurovacieho systému v závislosti od nameraných dát. Navrhovaný model je popísaný podľa [13]. Popis ukazuje len základné vlastnosti modelu spojené s popísanými problémami.

Model je diskretizovaný, s čoho vyplýva, že:

- Simulačný čas (čas modelu) sa mení v pravidelných časových intervaloch, a perióda je rádovo v minútach. S toho dostávame, že čas modelu uvažujeme ako nespojitú veličinu, ktorú definujeme len v konečnom počte časových okamžikov, na hraniciach uvedených časových intervalov.
- Veličiny, ktoré nám popisujú stav systému zostávajú po dobu uvedeného časového intervalu nemenné, a bude sa meniť len v bodoch, kedy je definovaný nespojitý čas.

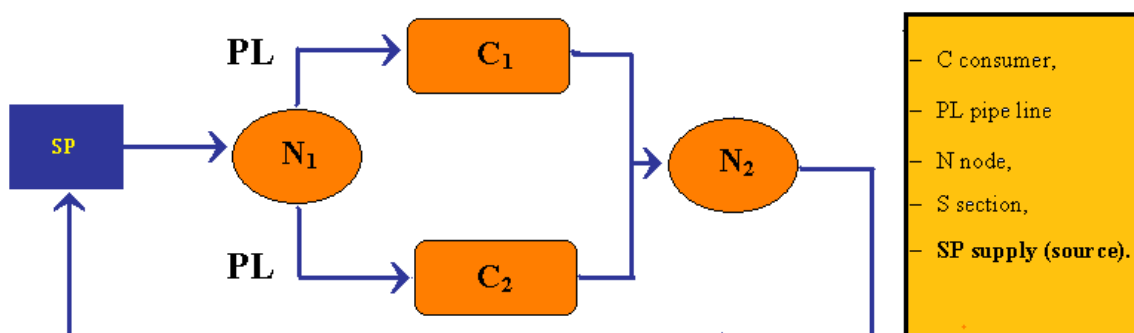
- Uvažujeme „diskrétné kvantum“ teplotnosného média (voda) FQ, to je určitý objem vykurovacej vody, ktorý sa počas uvedeného časového intervalu nemení.

Diskrétné kvantum teplotnosného média pokračuje cez prvky distribučnej siete, a takto rad za radom odovzdáva teplo podľa prvku, v ktorom sa práve nachádza. Sledujeme diskretizovaný priechod každého takéhto kvanta, ktoré označujeme  $^iFQ$ , distribučnej siete a počítajú sa pre neho zmeny jeho stavových veličín v osobitných časových intervaloch.

Vedľajším faktom, je, že FQ môže v priebehu modelovania procesu distribúcie a spotreby zaniknúť a vzniknúť nové FQ, ďalej musí platiť zákon zachovania hmoty. Tieto zmeny veličín sa vypočítajú na podstate platnosti fyzikálnych zákonov. Predpokladom bude taktiež podmienka, že stlačiteľnosť vody a taktiež potrubia bude v rozsahu používaných tlakov pre potrubie konštantné a nebude ho potreba do modelu zahrnúť. Pre sledovanie stavu systému využívame simulačné postupy.

Distribučná sieť rozdeľujeme na jednotlivé prvky, ktoré môžeme roztriediť do nasledujúcich skupín:

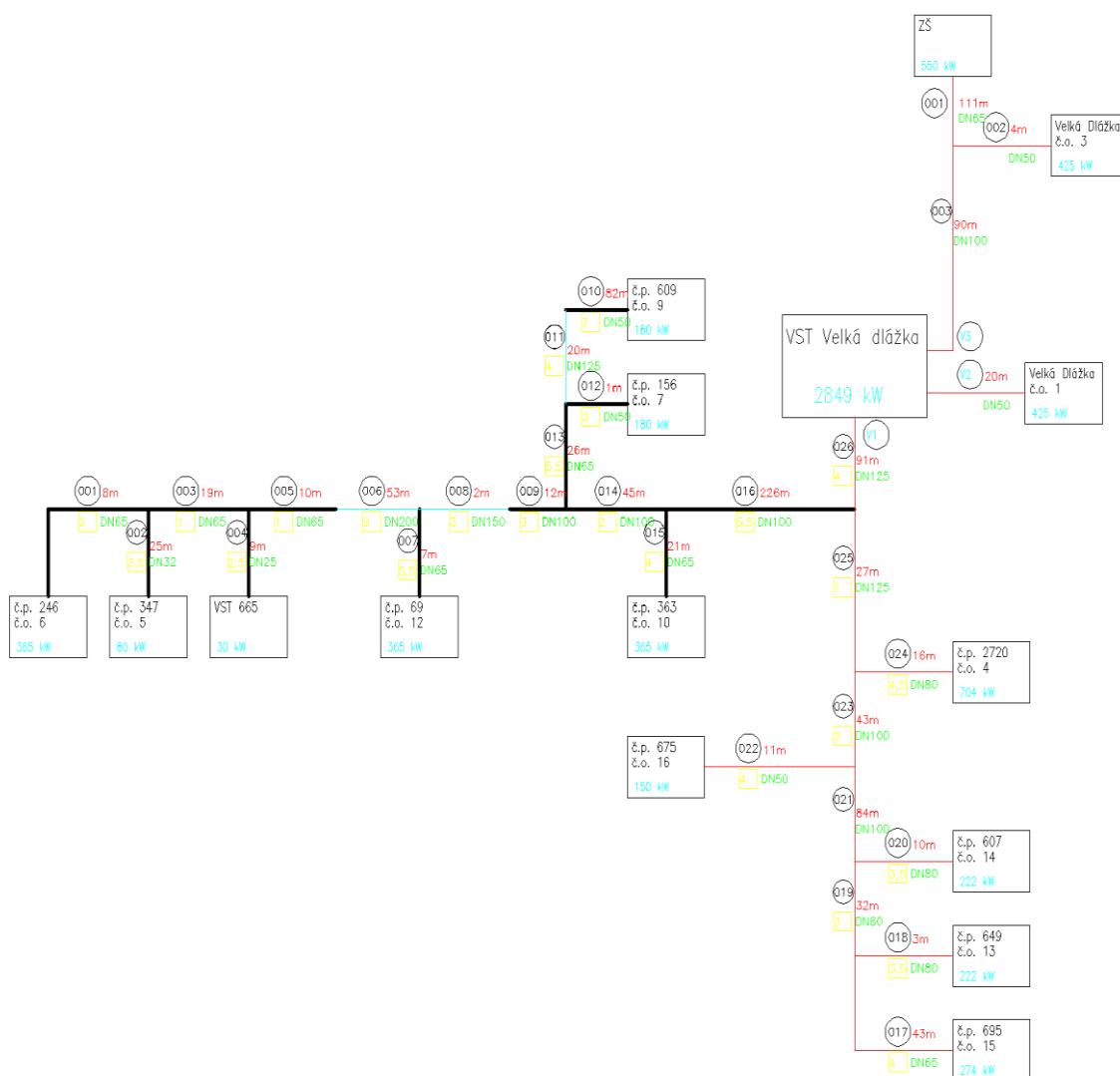
- Uzly distribučnej siete (node).
- Sekcie distribučnej siete (section).
- Úseky distribučnej siete (pipe line).
- Spotrebiteľ (consumer).



Obr. 5. Schéma častí distribučnej siete [13]

### 3.2 Merná distribučná stanica.

Správanie systému bude prezentovaná na základe dát, ktoré boli namerané v sekundárnej distribučnej sieti mesta Přerov v Českej republike. Konkrétne v okruhu výmenníkovej stanice Velká dlážka. Tento okruh obsahuje jednu výmenníkovú stanicu a pätnásť domových staníc. Každý dom spotrebuje tepelnú energiu pre vykurovanie bytov a iných priestorov v dome a pre prípravu TUV. Nasledujúci obrázok (Obr. 6) zobrazuje schematické rozmiestnenie spotrebiteľov s výmenníkovou stanicou.



Obr. 6. Schematické rozmiestnenie spotrebiteľov

Nasledujúci obrázok (Obr. 7) ukazuje časť mesta, kde sa nachádza výmenník tepla a domy, ktoré odoberajú teplo. Výmenníková stanica v časti Přerova (Velká dlážka), pokrýva

objekty, ako základná škola, materská škola, obytné výškové domy, klasické nižšie obytné domy a obchodné priestory.



Obr. 7. Vyobrazenie oblasti spotrebiteľov

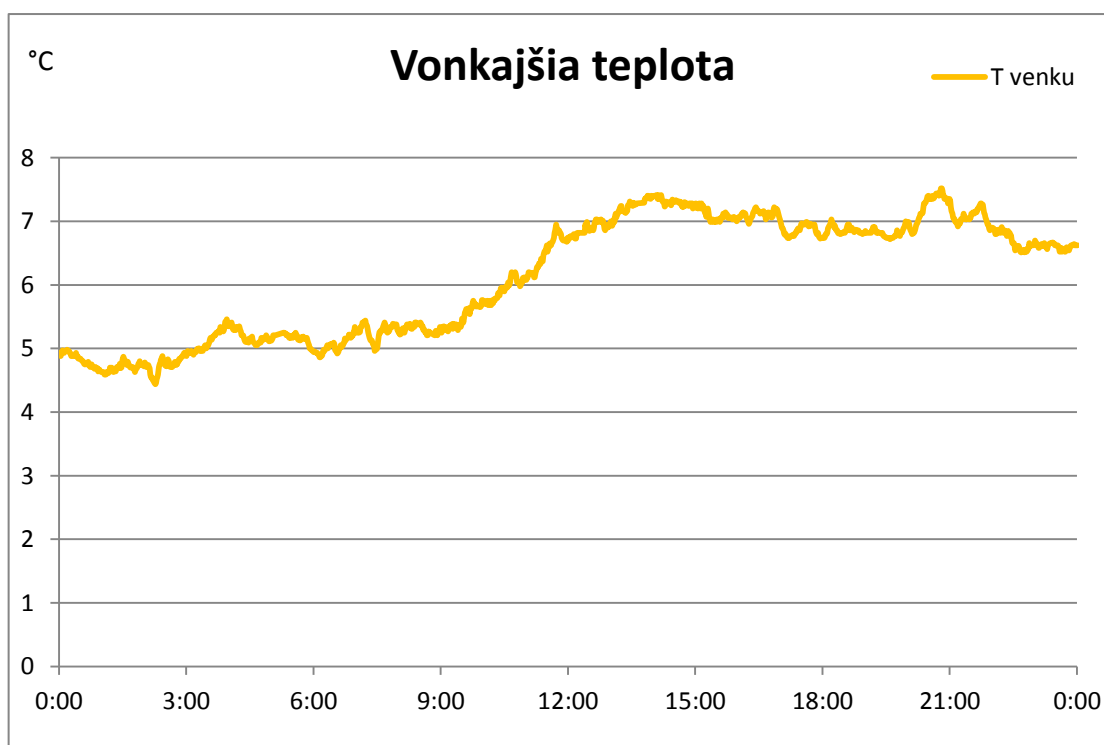
### 3.3 Analýza nameraných dát

V tejto kapitole budú analyzované dáta z výmenníkovej stanice a vyhl'adávame vhodné riešenie pre modifikáciu ekvitremnej krivky. V úlohe boli použité namerané dáta



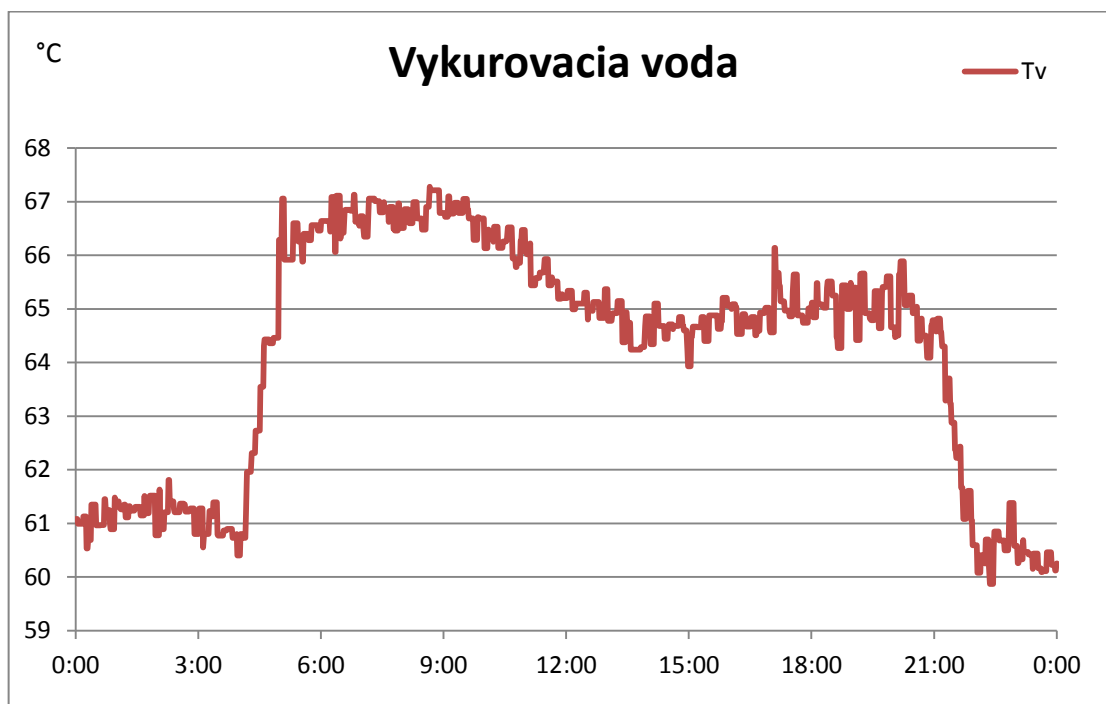
z výmenníkovej stanice, ktorá je výstupným bodom pre centrálné zásobovanie teplom v Přerove. Experiment pre praktickú časť tejto práce prebiehali na dátach z vykurovacej sezóny 2011/2012. Zmeraný a vybraný bol jeden deň v mesiaci január, kde sa prejavuje začiatok zimného, a taktiež vykurovacieho obdobia. Pre demonštráciu navrhnutých metód a priebehov jednotlivých experimentov budú výsledky prezentované na dátach z 11.12.2012.

V prvom rade ukážeme, ako sa správa vykurovací systém z vybranej výmenníkovej stanice, v priebehu jedného dňa v reálnom systéme. Nasledujúce obrázky (Obr. 8, 9, 10, 11 a 12) popisujú priebeh vonkajšej teploty, zodpovedajúcej teplote vykurovacej vody, teplote spätnej vykurovacej vody, namerané spotrebované teplo a hmotnostný prietok. Krivka ukazuje namerané hodnoty pre vybranú výmenníkovú stanicu.



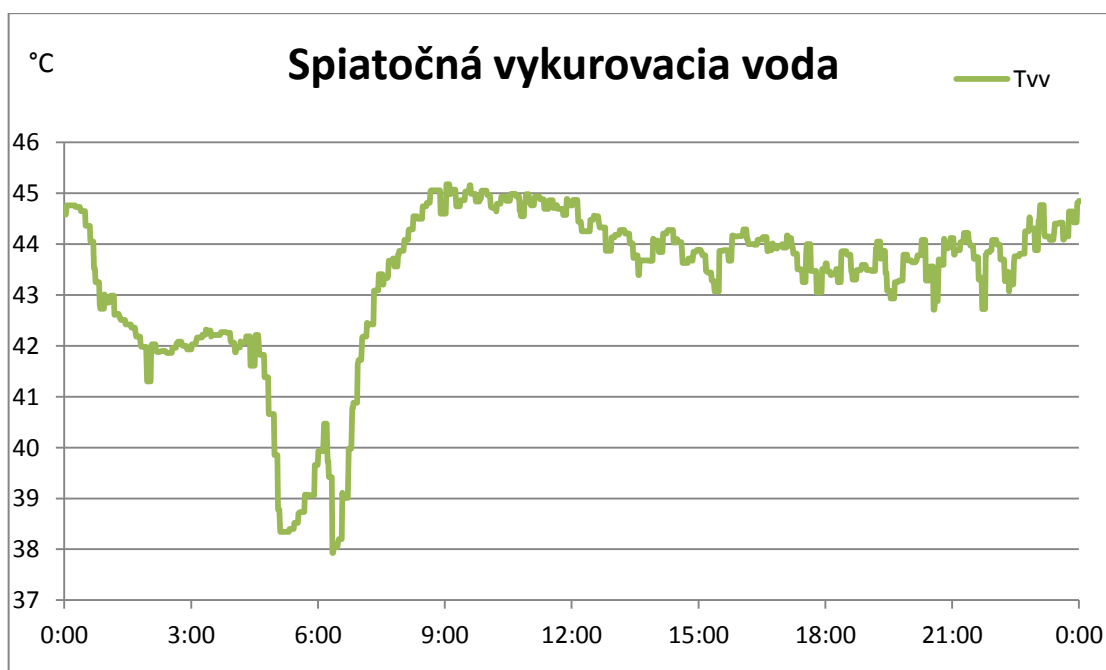
Obr. 8. Vonkajšia teplota

Obrázok (Obr. 9) znázorňuje merané hodnoty teploty vykurovacej vody vo zvolenom dni. Na priebehu je zrejмый prechod medzi dennou a nočnou krivkou ekvitermného riadenia.



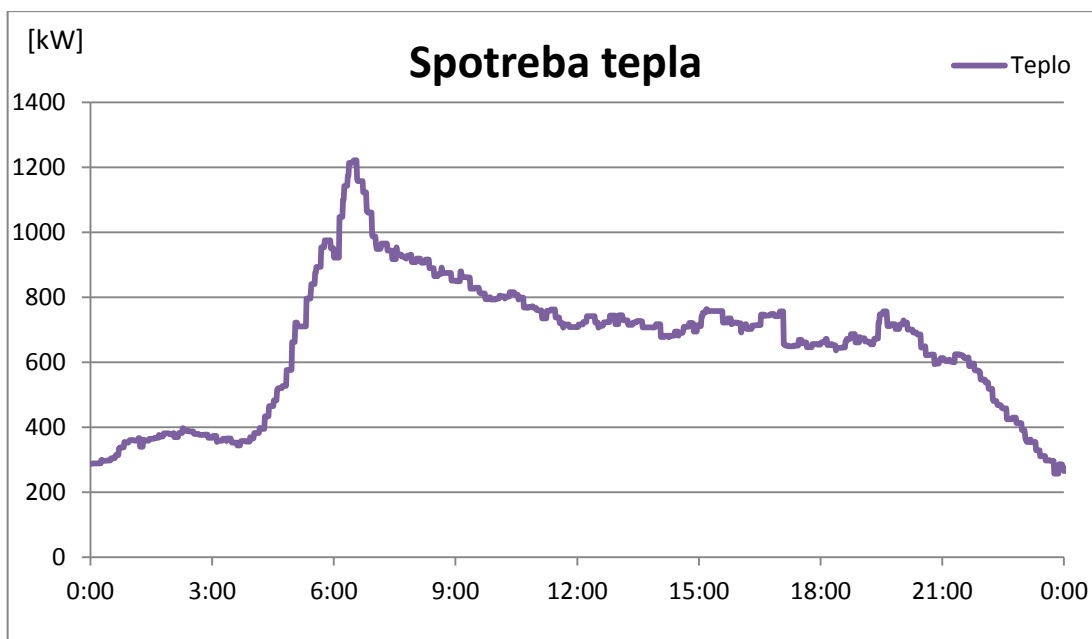
Obr. 9. Vykurovacia teplota vody z výmenníkovej stanice

Spiatočná vykurovacia voda bude v úvodnej časti experimentu zanedbaná, pretože z typického správania ide o malé odchýlky. Výsledok pre spiatocku budeme pozorovať v simulácii, ktorá bude vyobrazená v poslednej kapitole 5.

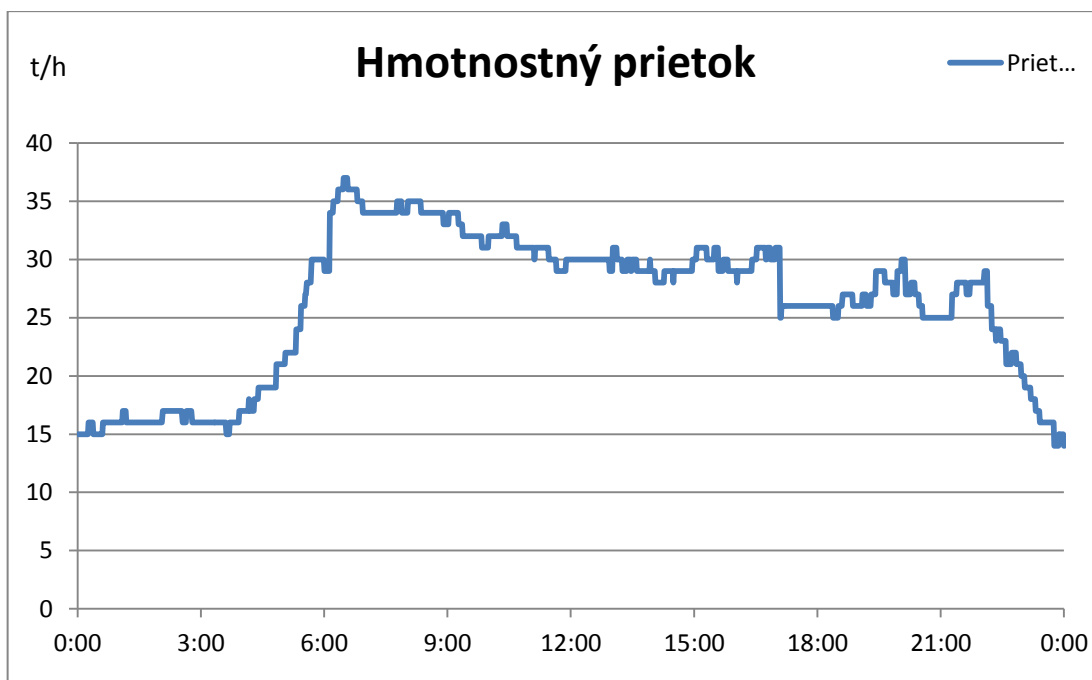


Obr. 10. Spiatočná vykurovacia voda

Na priebehu spotreby tepla na obrázku (Obr. 11) je dobré viditeľný nárast v období rannej špičky, kedy systém doplňuje energiu, ktorú v priebehu nočného útlmu stratil.



Obr. 11. Spotreba tepla



Obr. 12. Hmotnostný prietok

Jeden z faktorov, ktorý vedie k úspore energií je efektívne riadenie distribúcie tepelnej energie. Tepelná energia sa premiestni do miesta spotreby v čase, kedy to je potrebné, a taktiež v očakávanom množstve a kvalite. V teplote teplonosného média vyjadrujeme kvalitu dodanej tepelnej energie. Kvalita a množstvo tepelnej energie sa orientuje k minimálnym nákladom za distribúciu.

## 4 NÁVRH MODIFIKÁCIE EKVITERMNEJ KRIVKY

Cieľom experimentu je analyzovať merané dáta a na ich základe navrhnúť zásah do teploty vykurovacej vody tak, aby bol dosiahnutý žiadaný výsledok s odzrkadlením pre pozitívny efekt pre spotrebiteľa a taktiež pre dodávateľa. Zásah do teploty vykurovacej vody bude prevedený prostredníctvom modifikácie teploty vypočítanej zo stávajúcej ekvitermnej krivky. Modifikácia bola vykonaná na viac experimentoch s konečným výberom dát pre túto prácu. Avšak hlavnou myšlienkou bolo nájsť nejaké riešenie pre úpravu ekvitermnej krivky v kritickom momente, ktorý vyjadruje ranná a denná špička.

### 4.1 Návrh pre modifikáciu riadenia

Ako hlavná myšlienka celého experimentu modifikácie, spočíva v tom, aby bola ekvitermná krivka modifikovaná v prechode medzi nočným útlmom a dennou špičkou. V praxi to znamená zameranie na zmenu teploty vykurovacej vody, ktorej zmena bude mať za následok zmenu charakteristiky hmotnostného prietoku. Tento experiment slúži hlavne pre efektívnejšie využívanie teplotnosného média a taktiež získanie úspory energie.

Určujeme si teplotu vykurovacej vody, tak aby zabezpečila dostatočné množstvo tepla pre spotrebiteľov, ale musia byť odstránené taktiež zbytočné straty v potrubí siete a zároveň chceme dovŕšiť používanie minimálnej energie pre dopravu vykurovacieho média od zdroja k spotrebiteľovi.

Prvým krokom experimentu bolo na základe požiadavky na rovnomernejšie chovanie prietoku v rannej špičke vykonať jeho úpravu vo vstupných dátach a jednoduchým výpočtom určiť potrebnú hodnotu teploty vykurovacej vody, aby pri zachovaní požadovaného tepla bol navrhnutý prietok dosiahnutý.

Vyššia teplota zvýši tepelnú stratu pri prenosovom médiu, a v opačnom prípade médium, ktoré má nízku teplotu neprenáša toľko veľa energie, a preto musíme zvýšiť jeho množstvo. Zvýšenie tohto množstva nám zvyšuje náklady, ktoré sú spojené s dopravou.

Stručné riešenie pre modifikáciu ekvitermnej regulácie spočíva v týchto krokoch:

- Úprava hmotnostného prietoku a výpočet potrebnej teploty pre jeho dosiahnutie.
- Na základe získaného priebehu  $T_v$  stanoviť modifikáciu pre ekvitermu.
- Overiť chovanie systému pri aplikácii navrhnutej modifikácie.

Pre úpravu prietoku a teploty som použil vzťahy:

$$Q = (T_v - T_{vv}) * m * c \quad (4)$$

A ďalej riešime

$$m = \frac{Q}{(T_v - T_{vv}) * c} \quad (5)$$

|          |                                    |
|----------|------------------------------------|
| $T_v$    | teplota vykurovacej vody (vstupná) |
| $T_{vv}$ | spätočná voda (výstupná)           |
| $m$      | hmotnosť                           |

V modifikácii bol zavedený nový vzťah pre modifikáciu teploty vykurovacej vody pri zvyšovaní teploty o určitú teplotu:

$$\Delta T_m = (T_v + T_m) - T_{vv} \quad (6)$$

$T_m$  modifikovaná teplota

Rovnicu bolo treba upraviť a prispôbiť si v programe Excel od spoločnosti Microsoft na požadovanú výpočtovú formu, vždy záleží, či sa prevádza modifikácia teploty alebo prietoku.

## 4.2 Riešenie modifikácie ekvitermnej krivky

Požadované teplo môžeme získať dvomi spôsobmi. Kvalitou - teplota vykurovacieho média a kvantitou - množstvo prenosu tepla média v potrubí. V reálnych systémoch musíme nájsť správnu rovnováhu medzi týmito spôsobmi. Hlavným účelom týchto experimentálnych prác, je minimalizovať náklady pri dodržiavaní požadovanej kvality.

Jednou z úloh bola snaha znížiť náklady čerpacej práce. Cena čerpacej práce súvisí s použitím optimálneho čerpadla.

Experiment sa rozdeľuje na dva kroky:

- V prvom kroku experimentu bolo potrebné vypočítať a zobrazit požiadavky na teplotu v situácii, kedy je hmotnostný prietok konštantný.
- V druhom kroku bolo potrebné nastaviť teplotu  $T_v$  pomocou riešenia z prvého kroku.

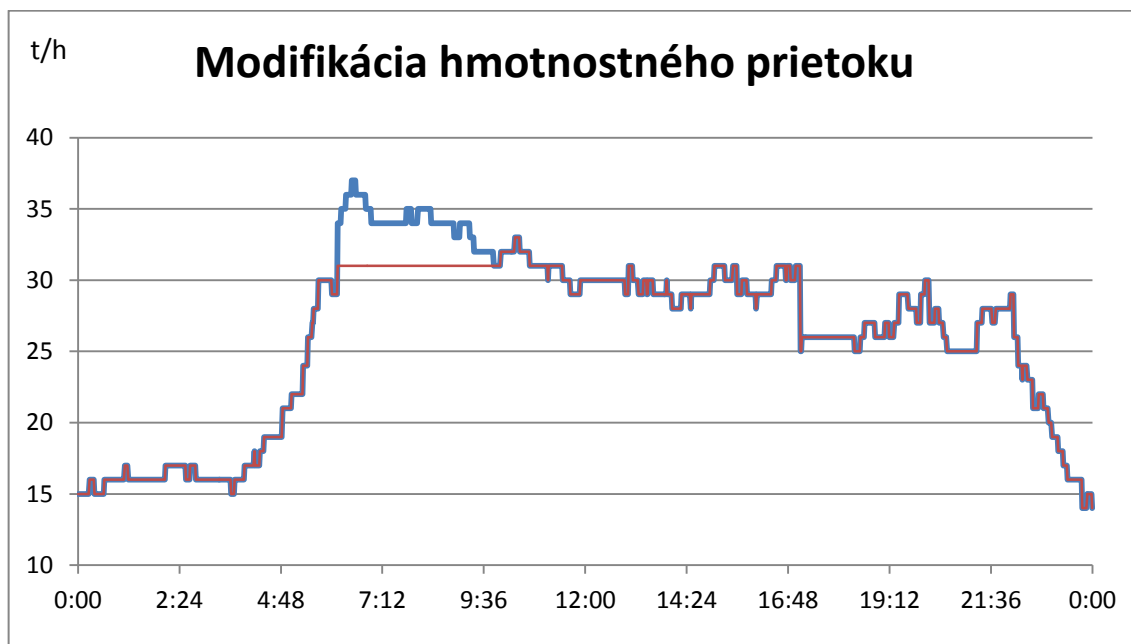
Pre tento experiment zanedbávame spätočnú vykurovaciu vodu.

#### 4.2.1 Modifikácia priebehu hmotnostného prietoku

V prvom kroku experimentu bola riešená modifikácia hmotnostného prietoku pre získanie hodnôt, ktoré zaisťujú rovnomernejší priebeh prietoku. Hmotnostný prietok zabezpečuje niekoľko faktorov, ako čerpadlo s frekvenčným meničom, teplotné médium a vykurovací voda.

Pri prechode z nočného útlu do rannej špičky bol modifikovaný prietok konštantne. Pre zjednodušenie upravíme rovnicu (4).

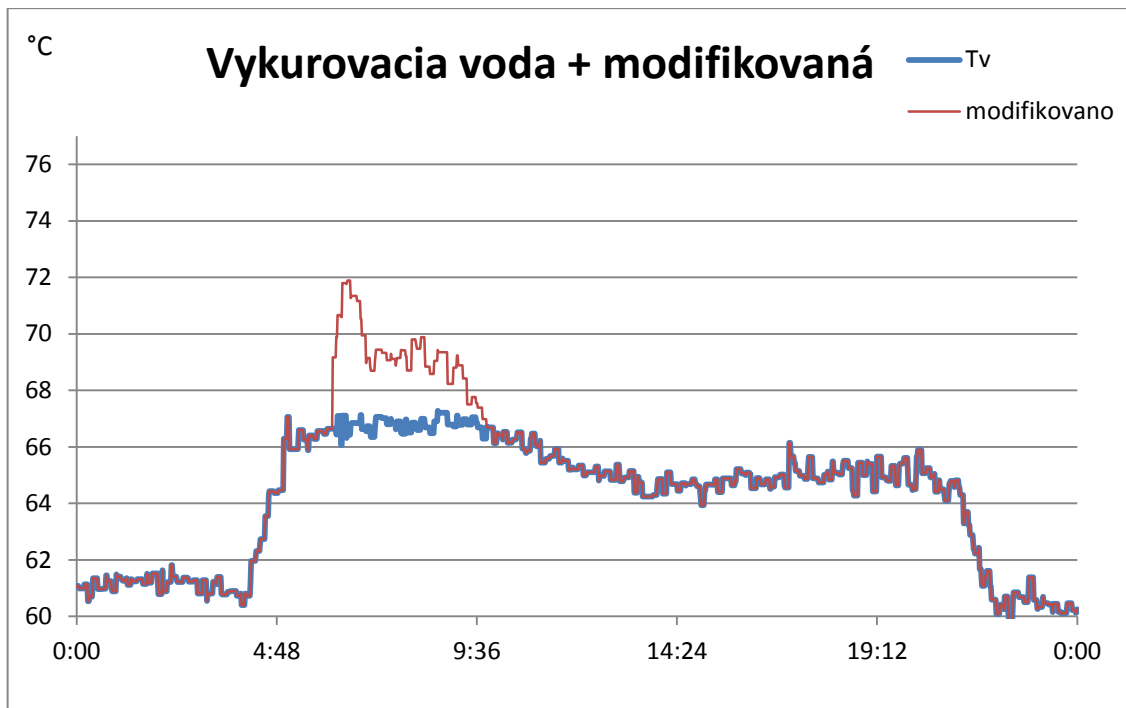
Priebeh hmotnostného prietoku je znázornená na obrázku (Obr. 13). Obrázok (Obr. 14) ukazuje vypočítanú teplotu, pri zachovaní množstva spotrebovaného tepla. Na obrázku (Obr. 15) a (Obr. 16), vidieť matematický výpočet modifikácie prietoku v konštantnej rovine. Dostaneme výslednú teplotu, ktorú je potrebné do systému zadať, aby sme dostali žiadaný prietok. V praxi však bude chovanie mierne odlišné. Metódu by bolo vhodnejšie overiť v reálnej prevádzke, kde je systém vystavený mnohým vplyvom. Hmotnostný prietok bol nastavený na konštantnú hodnotu 31 t/hod v čase od 6:00 – 9:50 hodín. Modrá krivka ukazuje priebeh pred modifikáciou a červená krivka priebeh po modifikácii.



Obr. 13. Modifikácia hmotnostného prietoku

Po zregulovaní prietoku získame novú modifikovanú teplotu. Táto teplota závisí od prietoku. Pri modifikácii hmotnostného prietoku dostaneme výpočet teploty pre konštantný

moment 31 t/hod. Požiadavky na konštantný hmotnostný prietok má vplyv na zvýšenie teploty. Hovoríme o modifikácii typu akcia - reakcia, ak zmeníme jednu vstupnú veličinu, zmení sa taktiež druhá.

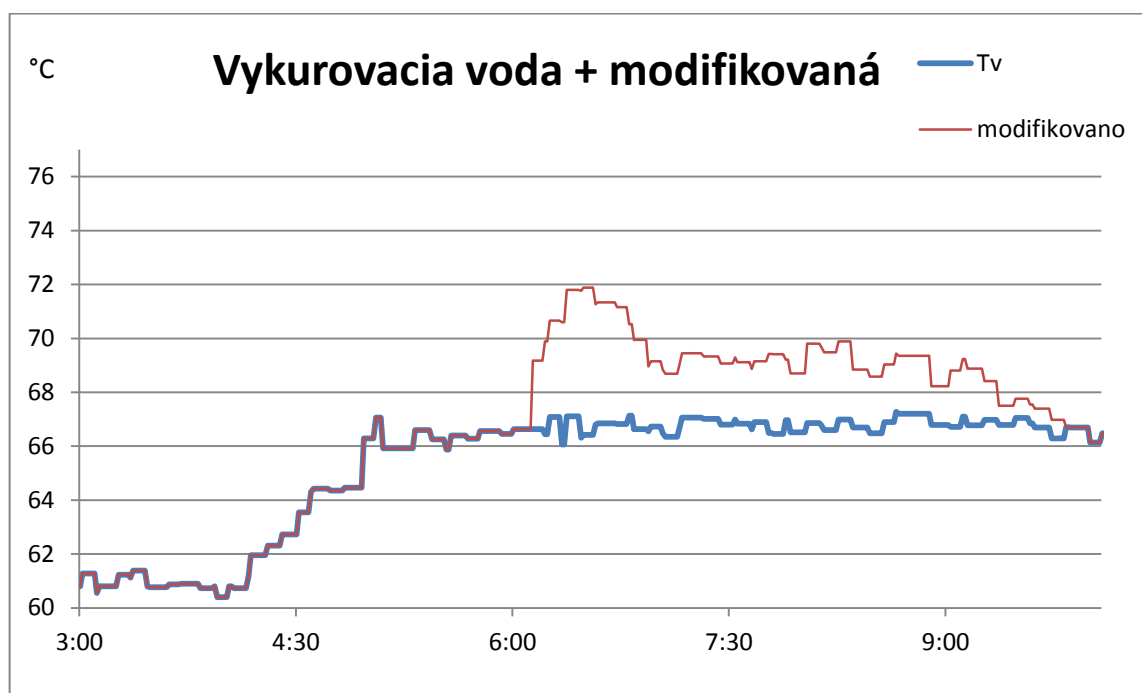


Obr. 14. Počiatočná vykurovacia voda a modifikovaná

Nasledujúci obrázok (Obr. 15) zobrazuje úplný priebeh modifikácie. Maximálna teplota, čiže vrchol bol nameraný na 72,88°C v čase 6:30 ráno čo robí rozdiel od počiatočnej hodnoty približne 4%. Ďalší priebeh určí nastavenie Tv pre druhý krok experimentu.

Do vykurovacích objektov je privádzaná teplejšia voda po celý čas modifikácie, táto teplota efektívnejšie využije vyprodukované teplo z výmenníkovej stanice. Overujeme, že dostaneme nižšiu čerpaciu prácu, na čom ušetríme financie. Pri modifikácii prietoku dostávame vyššiu úsporu, pretože podľa nastaveného prietoku možno popredu vedieť koľko ušetríme na čerpacej práci a nastaviť si podľa toho čerpadlo napríklad cez frekvenčný menič na nižšiu hodnotu, avšak držať sa limitu 20% práce čerpadla. Pri prechode z nočného do denného režimu dochádza vždy k menším výchylkám.



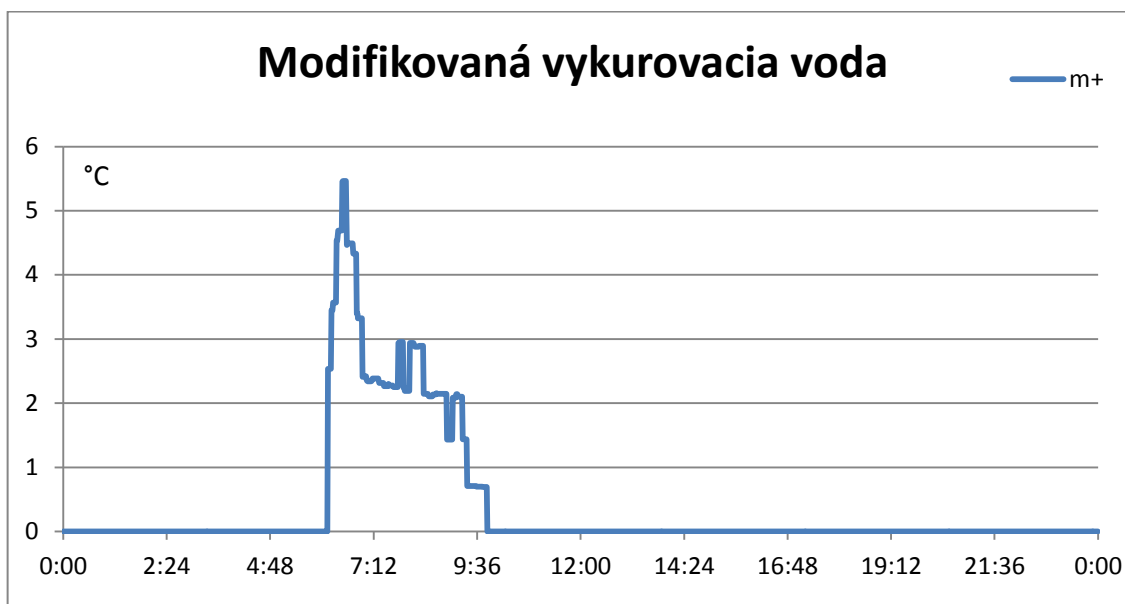


Obr. 15. vykurovacia voda a jej modifikácia

Na obrázku (Obr. 16) tohto experimentu sledujeme výpočet rozdielu vstupnej teploty a žiadanej teploty, kde vidíme zmeny, ako sa musí teplota zmeniť v celkovom čase modifikácie, a takto dostaneme pri prechode dennej a nočnej špičky konštantný hmotnostný prietok. Z experimentu zobrazíme v tabuľke (Tab. 1), tri náhodné vzorky rozdielu teplôt vykurovacej vody z prechodovej charakteristiky ekvitermnej krivky pred modifikáciou a po modifikácii.

| Priebehový moment | Čas  | Rozdiel $m, m^+$ (°C) |
|-------------------|------|-----------------------|
| Počiatok          | 6:08 | 2,53°C                |
| Vrchol            | 6:29 | 5,46°C                |
| Koniec            | 9:50 | 0,69°C                |

Tab. 3. Vybrané dáta vykurovacej teploty po modifikácii hmotnostného prietoku



Obr. 16. Vypočítaný rozdiel teplôt medzi počiatočnou a modifikovanou teplotou

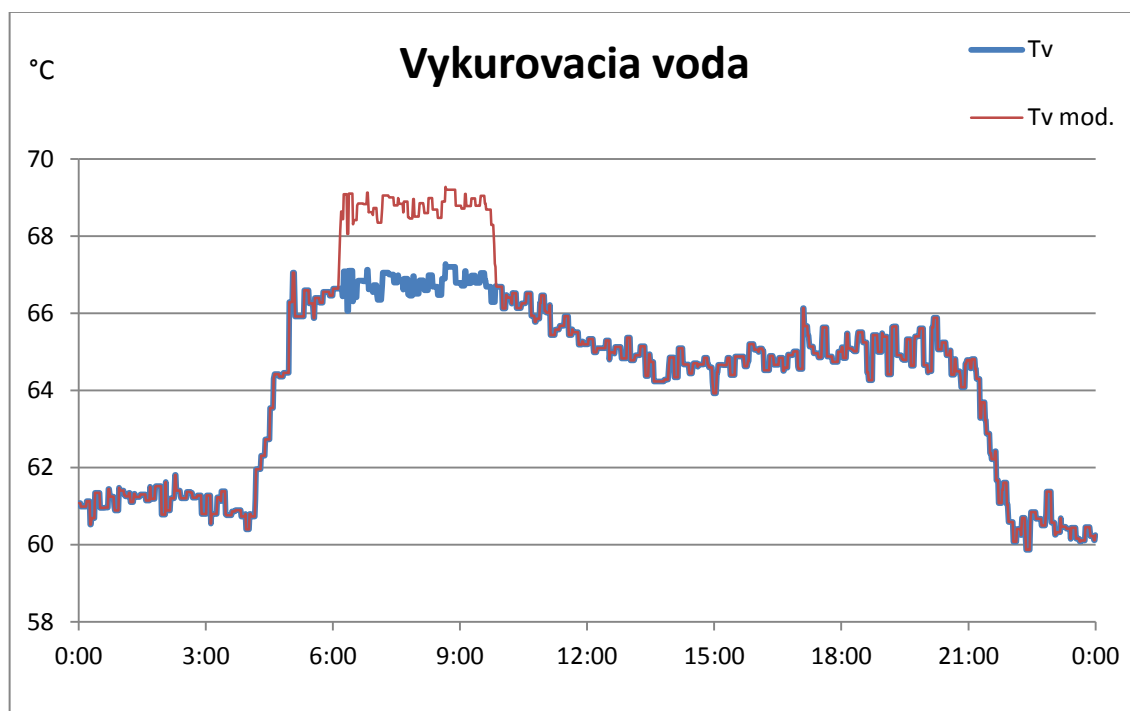
Experiment overil predpoklady myšlienky šetrenia čerpacej práce a na základe výpočtu rozdielu teplôt pred modifikáciou a po modifikácii dokážeme určiť pre druhý krok experimentu, akú vhodnú teplotu zvolíme pre modifikovanie  $T_v$ .

#### 4.2.2 Modifikácia priebehu vykurovacej teploty

Tento systém dovoľuje na zvolenom mieste v prechodovej charakteristike ekvitermnej krivky ručný zásah premennej  $T_v$ . S ohľadom na predchádzajúci experiment hmotnostného prietoku dokážeme určiť približnú veľkosť navýšenia  $T_v$ . U modifikácie hmotnostného prietoku porovnáme matematicky rozdiel  $T_v$  pred a po modifikácii a dostaneme rozdiel s ktorej určíme vhodnú teplotu, ktorou zvýšime v tomto experimente teplotu vykurovacej vody. Podľa prvého kroku experimentu bola nastavená teplota vykurovacej vody v čase rannej špičky o 2°C pre ekvitermnú krivku v rannom čase od 6:00 do 9:50.

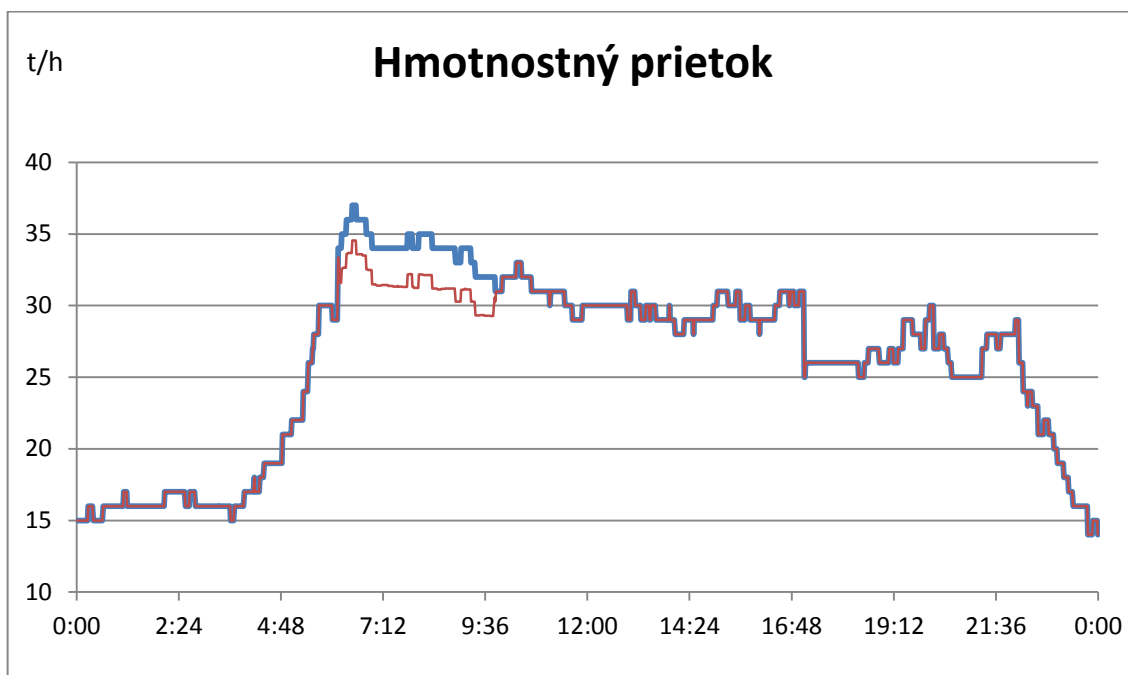
Navrhované zmeny pozorujeme na obrázkoch (Obr. 17) a (Obr. 18). Na Obrázku (Obr. 17) pozorujeme teplotu pred modifikáciou (modrá krivka) a po modifikácii (červená krivka). Vzájomné ovplyvnenie medzi modifikovanou teplotou a reakcie zmeny na teploty v prietoku je vidieť na obrázku (Obr. 18). Ak zmeníme teplotu o 2°C, prietok sa správa takmer rovnako, ako teplota vykurovacej vody. Správanie prietoku po modifikácii  $T_v$  je najlepšie pozorovateľne na detailnom obrázku (Obr. 19). Experiment pozostáva z dvoch

modifikácií – večerná a ranná špička. Boli vybrané hodnoty s dátumom 11. Január a tento experiment sa začal v rannej špičke.

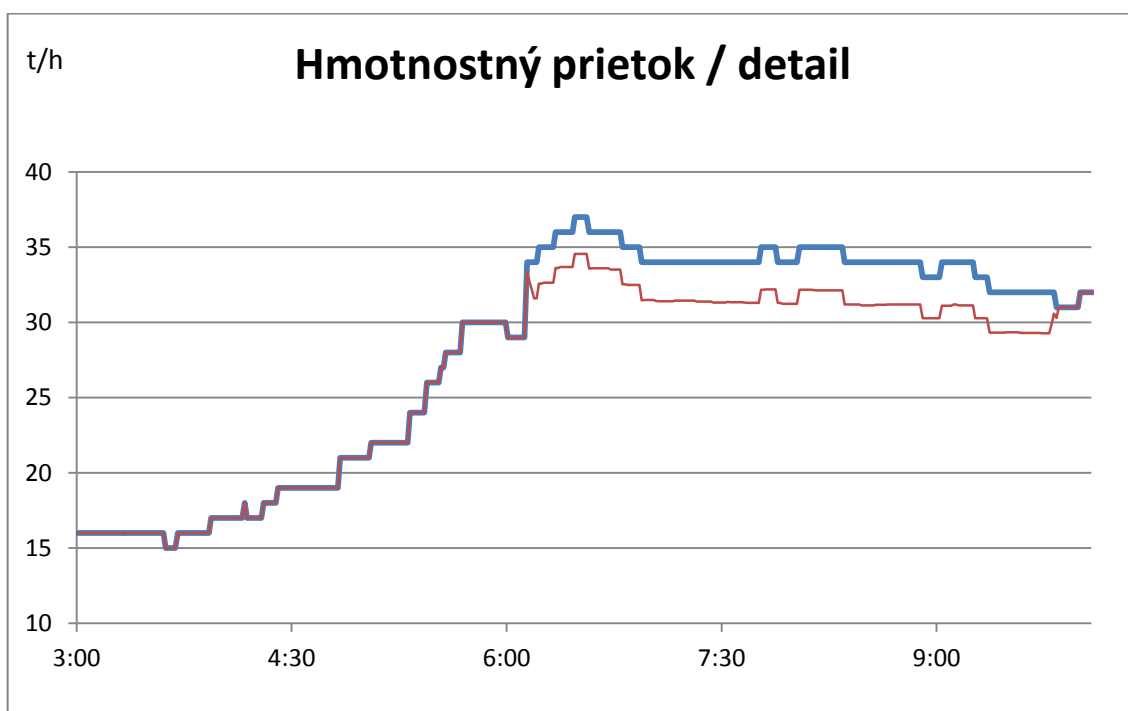


Obr. 17. Modifikácia vykurovacej vody

Na obrázku (Obr. 18) pozorujeme získané správanie vykurovania v rannej dopravnej špičke. Zvýšenie teploty na vstupe vody má vplyv na požiadavky hmotnostného prietoku. Po zvýšení teploty, hmotnostný tok poklesol a zdá sa, že navrhovaná zmena má pozitívny vplyv. Po zmene  $T_v$  sa prietok konštantne znížil a nie sú vidieť žiadne skoky v hodnotách. Takto si overujeme účinnosť prietoku. Po modifikácii je čerpacia práca menšia, čo sa odzrkadlí na ušetrenej energii. Modrá krivka zobrazuje vykurovaciu vodu pred modifikáciou a červená krivka po modifikácii



Obr. 18. Hmotnostný prietok po modifikácii vykurovacej vody



Obr. 19 Detailný náhľad na hmotnostný prietok po modifikácii vykurovacej vody

Výpočtom bolo dokázané, že zvýšenie teploty má pozitívny vplyv na správanie hmotnostného prietoku. Experiment dokazuje, že má zmysel meniť vykurovacie krivky.

## 5 SIMULÁCIA EXPERIMENTU PRI ZMENE TEPLOTY

Táto kapitola má za úlohu porovnať výsledky priebehu nameraných hodnôt so simuláciou využívajúcou simulátor ICSE vyvinutý na FAI UTB, ktorý pracuje v prostredí Java. [7] Tento simulačný model pracuje v niekoľkých krokoch.

Základné krokom uvedený požadovaný časový interval pre predikciu.

- Požadovaný časový interval pre predikciu je špecifikovaný. V praxi to znamená najbližšiu budúcnosť.
- V závislosti na predpovedi vonkajšej teploty, deň (časový interval) je vybraný z predchádzajúcich údajov s podobnými podmienkami. Algoritmus berie do úvahy rozdiely medzi meranou a predpokladanou teplotou
- Vybrané dáta z podobného časového intervalu sú spojené s aktuálnymi výsledkami merania a dohromady budujú dátový základ procesu identifikácie.
- Proces identifikácie udáva priebeh spotreby distribuovaný v čase. Tento postup je základom pre proces identifikácie. Ostatné parametre, ako vstupná, výstupná teplota a prietok sú počítané na základe očakávanej spotreby tepla. Výpočtový proces hľadá najvhodnejšiu kombináciu medzi vykurovacou vodou a hmotnostným prietokom.
- Výsledky vyhodnocuje v tabuľkách a grafoch s uložením vybraných dát do databáze pre ďalšie použitie.

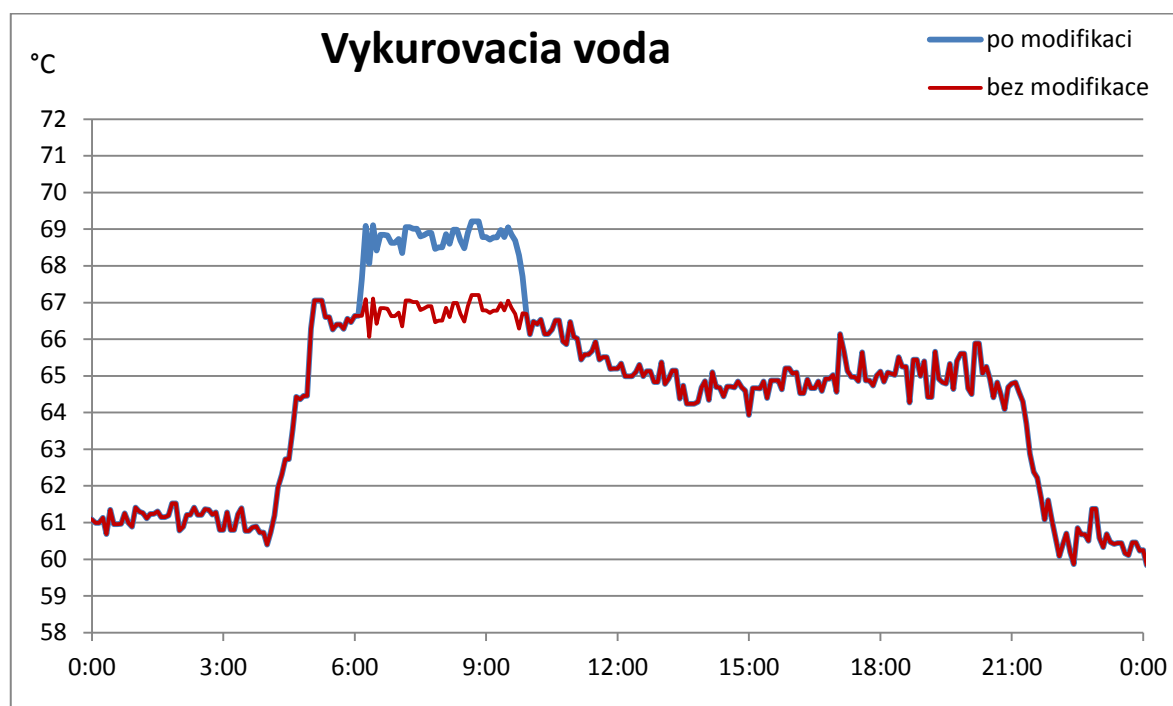
### 5.1 Vyhodnotenie simulácie modifikovanej vykurovacej teploty

Simulácia modifikovanej vykurovacej teploty v tejto kapitole porovnáva dáta experimentu počítané v programe Microsoft Excel z kapitoly 4. Identifikácia bola vyvolaná z formulára pre identifikáciu rovnakého a predchádzajúceho obdobia, vidieť na obrázku (Obr. 20). Po ukončení identifikácie získame k dispozícii graf porovnania nameraných hodnôt teploty vratnej vody a hodnoty vypočítané z identifikačného modelu.



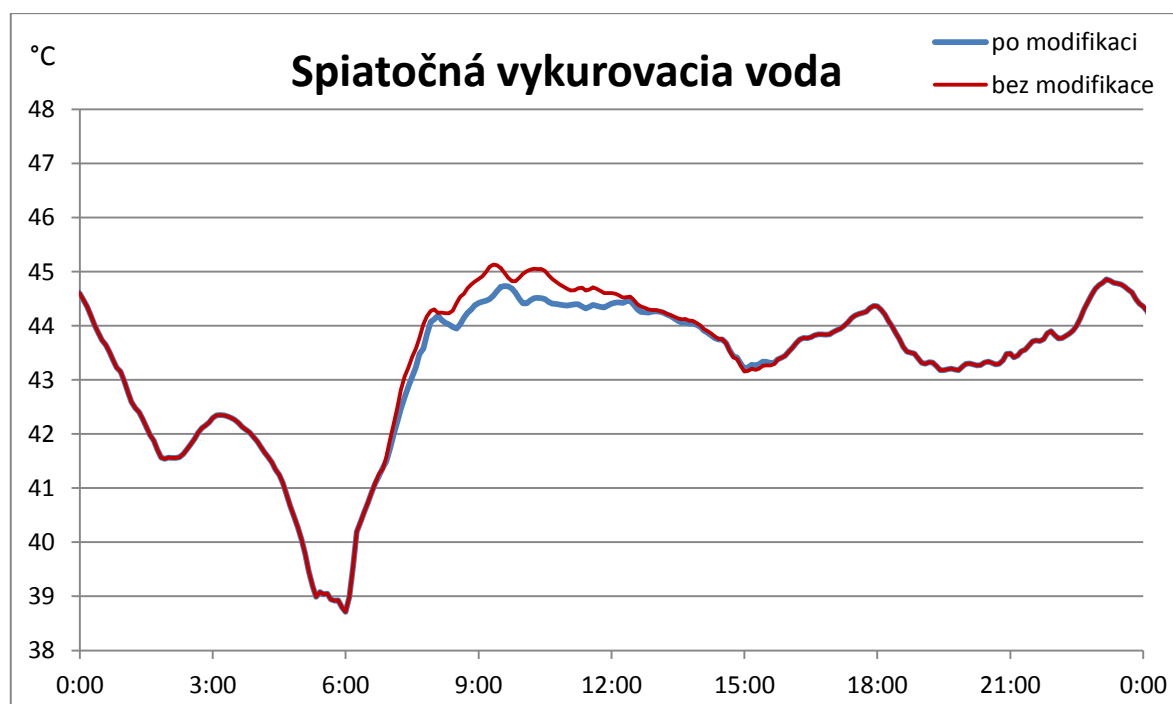
Obr. 20. Výsledek identifikácie

Obrázok (Obr. 21) a (Obr. 23) popisuje výsledky zo simulácie. Výpočty ukazujú rozdiely medzi predikciou. Modrá krivka popisuje systém pred modifikáciou a červená po modifikácii. Predpoveď bola na základe podmienok, ktoré tvoria podobný deň.

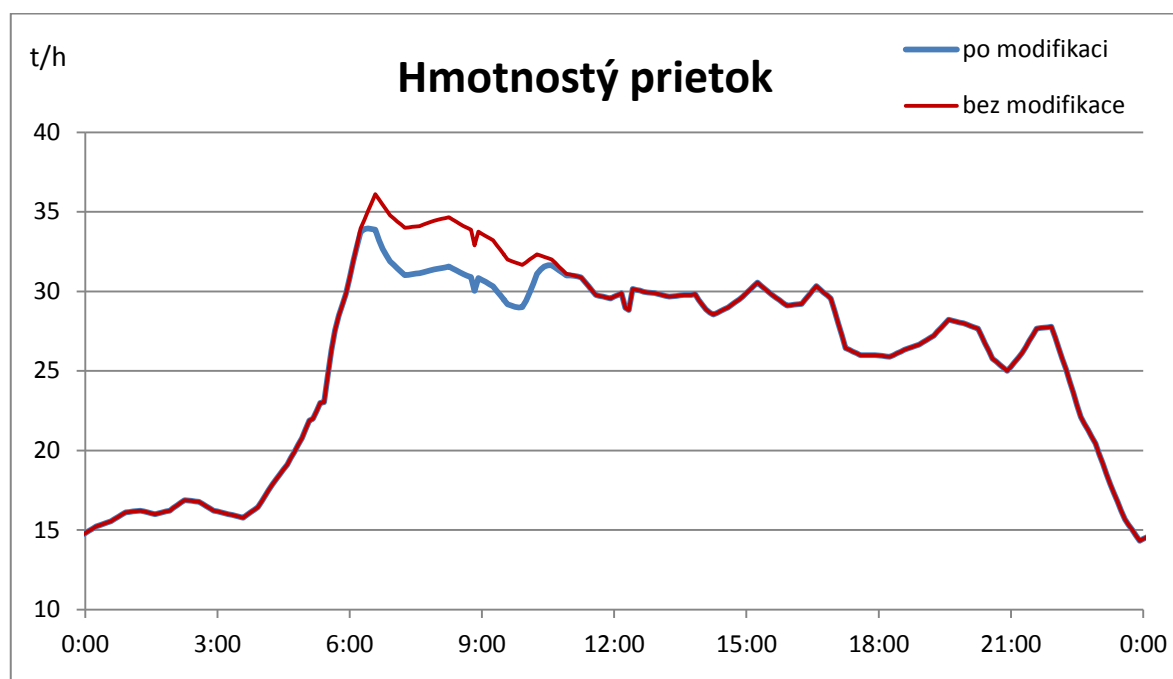


Obr. 21. Simulovaná modifikácia vykurovacej vody

Pri riešení modifikácii prietoku a vykurovacej vody v kapitole vyššie, sme spätočnú vykurovaciu vodu zanedbali. Zo simulácie však vidíme, že na obrázku (obr. 22) sú minimálne zmeny na spätočnej teplote vody.



Obr. 22. Simulovaný priebeh modifikácie spätočky vykurovacej vody



Obr. 23. Simulovaný priebeh modifikácie hmotnostného prietoku

Z výsledkov pozorujeme, že výsledky simulačného pokusu sa príliš nelíšia s výsledkami nameranými v programe Microsoft Excel. Vyskytujú sa mierne odchýlky v získaných krivkách.

Výsledok simulačného pokusu nemusí presne odpovedať reálnej sústave, pretože nie je zaťažený

- Náhodným správaním v reálnom modeli.
- Nepresnosťou v počasí.

Odstránenie všetkých chýb je celkom nemožné, avšak stále existuje priestor na zníženie niektorých z nich.



## ZÁVER

Ekvitermná regulácia je veľmi rozšírená v centrálnych systémoch zásobovania teplom. Hlavným cieľom práce bolo navrhnúť modifikáciu ekvitermnej krivky a nájsť riešenie pre úsporu energií.

V teoretickej časti práce bol podrobne popísaný centrálny systém zásobovania tepla a rozpisané rôzne druhy regulácií, ktoré sa využívajú v centrálnom tepelnom zdroji. V závere každej kapitoly sú popísané výhody a nevýhody pre každú kapitolu.

V úvode praktickej časti bola analyzovaná problematika k danej téme, a popísaný celý rad potrebných informácií pre modifikáciu ekvitermnej krivky. Pred začiatkom riešenia práce boli popísané namerané dáta, na ktorých bol uskutočnený experiment. Základom celej práce boli kritické body, prechod z nočného útlmu do dennej špičky. V tomto bode bola upravená ekvitermná krivka a bola zvolená jednoduchá korekcia, aplikovaná pri rannej dopravnej špičke od 6:00 do 9:50 hodiny.

Hlavný experiment prebiehal v dvoch krokoch, a následne bolo overené chovanie systému pri aplikácii navrhutej modifikácii. Pred začatím bolo potrebné stanoviť podmienky pre postup modifikácie. V prvom kroku experimentu bolo potrebné vypočítať a zobrazíť požiadavky na teplotu v situácii, kedy je hmotnostný prietok rovnomerný. Pri zmene prietoku bola počiatočná teplota vykurovacej vody zmenená na novú hodnotu. Na základe výpočtu rozdielu teplôt pred modifikáciou a po modifikácii dokážeme určiť pre druhý krok experimentu, akú vhodnú teplotu zvolíme pre modifikovanie  $T_v$ . V druhom kroku bolo potrebné nastaviť teplotu vykurovacej vody pomocou riešenia z prvého kroku. Z matematického výpočtu rozdielu teplôt z prvého kroku experimentu získame hodnotu pre navýšenie teploty vykurovacej vody. Teplota vykurovacej vody bola navýšená na 2 °C a implementovaná do už existujúcich dát. Zvýšenie teploty na vstupe vody mala vplyv na požiadavky hmotnostného prietoku. Po zmene teploty vykurovacej vody bol prietok konštantne znížený a neboli viditeľné žiadne skoky v hodnotách. Takto si overujeme účinnosť prietoku. Po modifikácii je čerpacia práca menšia, čo sa odzrkadlí na ušetrenej energii.

Výsledky experimentu pre druhý krok boli odsimulované pomocou simulátoru ICSE. Z výsledkov simulácie bolo pozorovateľné, že výsledky identifikácie sa príliš nelíšili s výsledkami nameranými v programe Microsoft Excel. Vyskytovali sa mierne odchýlky v získaných krivkách.

Hodnotenie výsledkov naznačuje, že zvýšenie teploty má pozitívny vplyv na správanie hmotnostného toku. Zvýšenie teploty spôsobil iba mierny pokles v hmotnostnom toku, ale vrcholy, ktoré vznikali počas rannej dopravnej špičky boli čiastočne odstránené. Experiment ukázal, že má zmysel meniť vykurovaciu krivku, ale je nevyhnutné zaviesť prepracovanejšie metódy pre návrh opravy. V budúcnosti by mal byť systém overený v reálnej prevádzke počas hlavného vykurovacieho obdobia, aby sme overili skutočné výsledky práce.

Výsledky práce ukazujú priestor pre ďalšie skúmanie systému a zavedenie viac sofistikovanejších algoritmov pre zmeny vykurovacej teploty s cieľom dosiahnuť lepšieho hmotnostného prietoku. V budúcnosti, by sa mal pripraviť presnejší algoritmus, ktorý by aplikoval dosiahnuté výsledky zo simulácie do reálneho vykurovacieho systému.

## ZÁVER V ANGLIČTINE

Ekviterm regulation is very common in the central systems for heat supplying. The main aim of my work was to create modification of ekviterm curve and find solution for saving of energy.

In theoretical part of my work I described in details the central system of heat supplying and different kinds of regulations which may be used in the central heating source. In the end of every chapter are described advantages and disadvantages of every option.

In the introduction I analysed the issue of whole topic and described all necessary information for modification of ekviterm curve. Before I described the work I used measured readings on which was the experiment based. All work is build on critical points, the transition from night regime to peak of day. In this point was adjusted the ekviterm curve and chosen the simple correction, used during the morning peak time from 6:00 till 9:50.

Main experiment was done in two steps and subsequently was checked the system after application of proposed modification. Before I started it was necessary to specify the conditions of the steps of modification. In the first step of experiment was necessary to count and display the requirements of the heat in situations when is the weight flow equable. With a change of flow was initial temperature of heated water changed to zero. Based on the calculation of difference between temperatures before modification and after modification, we can determine, for the second step of experiment, what is the appropriate temperature for modification  $T_v$ . In the second step was necessary to set the temperature of heated water with the first step results. From the calculation of difference between temperatures from the first step of my experiment we will get the amount of the heat increase of heated water. The temperature of heated water was increased to 2 °C and implemented to already existed data. The increase of water temperature was caused by the weight flow. After the change of water temperature was the flow constantly decreased and no gaps in values was noticed. This was the way of checking the efficiency of flow. After modification is pumping lower what will reflect in saved energy.

The results of experiment for second step simulated through simulator ICSE. From results was visible that results of identification are not different from results measured in the programme Microsoft Excel. There were slight differences in obtained curves. The

review of my results suggests, that increase of the temperature has positive effect on behaviour of weight flow. The increase of temperature caused only minor decrease of weight flow, but peaks that were created through the morning transport peak time were partly removed. The experiment proved that there is a sense to change the heating curve, but it is necessary to improve methods of reparation. In the future should be the system tried in real service during main heating period, so we can checked the real results of my work.

The results of work allow the space for future investigation of system and use of more sophisticated algorithms for changes of heating temperature, aiming to reach better weight flow. In the future there should be prepared better algorithm, that would use obtained results from simulation to real heating system.

## ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

- [1] IBLER, Zdeněk et al. Technický průvodce energetika. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2002, 615 s. ISBN 80-7300-026-11.
- [2] BALÁTEĚ, Jaroslav. Automatické řízení. 2. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 664 s. ISBN 978-80-7300-148-3.
- [3] ŠUBRT, Roman. Tepelné izolace v otázkách a odpovědích. 2. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 160 s. ISBN 978-80-7300-234-3.
- [4] CIKHART, Jiří. Měření a regulace ve vytápění. Praha: SNTL - redakce báňské a strojírenské literatury, 1974, 364 s. ISBN 04-249-84.
- [5] BROŽ, Karel. Zásobování teplem. Praha: ČVUT, 2002, 217 s. ISBN 80-01-02521-7.
- [6] CIKHART, Jiří et al. Soustavy centralizovaného zásobování teplem. 2. vyd. Praha: SNTL, 1989, 557 s. ISBN 80-03-00021-1.
- [7] PITEĽ, Ján; MIŽÁK, Jozef. Ekvitermická regulácia s adaptívnou korekciou na referenčnú teplotu. AUTOMA: časopis pro automatizační techniku [online]. 2006 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z WWW: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=31424](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=31424).
- [8] BAŠTA, J., BROŽ, K., CIKHART, J., VALENTA, V. Topenářská příručka, Svazek 2, GAS Praha, 2001, ISBN 80-86176-83-5
- [11] BAŠTA, Jiří. Možnosti moderních způsobů regulace. [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupne z: <http://vytapani.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4360>
- [12] REINBERK, Zdenek. Ekvitermní křivky. [online]. [cit. 2013-04-08]. Dostupne z: <http://vytapani.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=50&h=38&obor=5>
- [13] Vasek L., Dolinay V. “Simulation Model of Heat Distribution and Consumption in Practical Use”. Proceedings of the 13th WSEAS International Conference on Automatic Control, Modeling and Simulation, Lanzarote, WSEAS Press 2011, pp. 321-324, ISBN 978-1-61804-004-6.
- [14] Vasek L., Dolinay V. “Simulation Model of Heat Distribution and Consumption in Municipal Heating Network”. International journal of mathematical models in applied sciences, <<http://www.naun.org/journals/m3as/>>. ISSN 1998-0140, 2010

[15] DOUBRAVA, Jiří. Regulace ve vytápění. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2000, 155 s. Sešit projektanta - pracovní podklady (Společnost pro techniku prostředí). ISBN 80-020-1384-0

**ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK**

|                 |                              |
|-----------------|------------------------------|
| MPa -           | megapascal                   |
| FQ              | flow quantum                 |
| °C              | stupne celzia                |
| TUV             | teplá úžitková voda          |
| Obr             | obrázok                      |
| CZT             | centrálne zásobovanie teplom |
| atď             | a tak ďalej                  |
| K               | premenná K                   |
| T <sub>v</sub>  | vykurovací voda              |
| T <sub>vv</sub> | spiatočná vykurovací voda    |
| t/hod           | tona za hodinu               |
| aj -            | a jednako                    |

## ZOZNAM OBRÁZKOV

|  |    |
|--|----|
| Obr. 1. Principiálne technologické usporiadanie pre SCZT [8].....                    | 13 |
| Obr. 2. Priebehy denných potrieb tepla pre vykurovanie u rôznych odberateľov [8].... | 17 |
| Obr. 3. Diagram doby trvania potrieb tepla [8].....                                  | 18 |
| Obr. 4. Priebeh teplôt vykurovacej sústavy podľa vonkajšej teploty [12].....         | 24 |
| Obr. 5. Schéma častí distribučnej siete [13].....                                    | 30 |
| Obr. 6. Schematické rozmiestnenie spotrebiteľov.....                                 | 31 |
| Obr. 7. Vyobrazenie oblasti spotrebiteľov.....                                       | 32 |
| Obr. 8. Vonkajšia teplota.....   | 33 |
| Obr. 9. Vykurovací teplota vody z výmenníkovej stanice.....                          | 34 |
| Obr. 10. Spiatočná vykurovací voda.....  | 34 |
| Obr. 11. Spotreba tepla.....   | 35 |
| Obr. 12. Hmotnostný prietok.....   | 35 |
| Obr. 13. Modifikácia hmotnostného prietoku.....                                      | 39 |
| Obr. 14. Počiatočná vykurovací voda a modifikovaná.....                              | 40 |
| Obr. 15. vykurovací voda a jej modifikácia.....                                      | 41 |
| Obr. 16. Vypočítaný rozdiel teplôt medzi počiatočnou a modifikovanou teplotou.....   | 42 |
| Obr. 17. Modifikácia vykurovacej vody.....   | 43 |
| Obr. 18. Hmotnostný prietok po modifikácii vykurovacej vody.....                     | 44 |
| Obr. 19. Detailný náhľad na hmotnostný prietok po modifikácii vykurovacej vody.....  | 44 |
| Obr. 20. Výsledok identifikácie.....   | 46 |
| Obr. 21. Simulovaná modifikácia vykurovacej vody.....                                | 47 |
| Obr. 22. Simulovaný priebeh modifikácie spiatočky vykurovacej vody.....              | 47 |
| Obr. 23. Simulovaný priebeh modifikácie hmotnostného prietoku.....                   | 48 |



**ZOZNAM TABULIEK**

|   |    |
|---|----|
| Tab. 1. Základné typy a parametre teplárenských sústav [8].....                       | 15 |
| Tab. 2. Obvyklé hodnoty základných ukazovateľov, pre priebehy dodávok tepla. [8]..... | 19 |
| Tab. 3. Vybrané dáta vykurovacej teploty po modifikácii hmotnostného prietoku.....    | 41 |