

Řízení tepelného výkonu horkovodu – simulace řízeného systému i řídicího algoritmu

Operating of heat rate hot–water pipe – simulation of control system and control algorithm

Bc. Michaela Plisková

Diplomová práce
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav aplikované informatiky

akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michaela PLISKOVÁ**

Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Informační technologie**

Téma práce: **Řízení tepelného výkonu horkovodu -- simulace řízeného systému i řídicího algoritmu**

Zásady pro vypracování:

1. Sestavit program řízené soustavy -- horkovodu, pro simulaci "kvalitativně - kvantitativního způsobu řízení".
2. K existujícímu algoritmu řízení - "kvalitativně - kvantitativního způsobu řízení tepelného výkonu horkovodu" upravit řídicí program.
3. Zajistit funkční spolupráci těchto dvou programů a ověřit funkčnost simulací řídicího algoritmu, simulací řízené soustavy a simulací celého regulačního obvodu.
4. Využít spojitých resp. diskrétních regulátorů, případně promyslet i možnost použití Fuzzy-regulátorů.
5. Sestavit řídicí algoritmus a program po simulaci řízené soustavy horkovodu.
6. K řídicímu algoritmu připojit již zpracovávaný program pro výpočet předpovědi časové řady - denního diagramu dodávky tepla (metoda Box - Jenkinse).
7. Navrhněte reprezentativní způsoby řízení a ověřte simulací funkčnost celého regulačního obvodu.
8. Zpracovat metodiku ekonomického zhodnocení nasazení řízení horkovodu a ověřit ekonomický význam popsané metody řízení ve vybrané lokalitě.
9. Pro simulaci využít programového prostředí MATLAB.
10. Práce navazuje na realizované dílčí úseky; částečně byly řešeny ve šk.r. 2005/6.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

- [1] Balátě, J. [1994]. Čs patent č. 279253 – Způsob řízení tepelného výkonu horkovodu a zapojení k provádění tohoto způsobu.
- [2] Balátě, J., Sysala, T. [1995]. Algoritmus řízení tepelného výkonu v horkovodních systémech centralizovaného zásobování teplem. Automatizace 38 (11), str. 435 – 438.
- [3] Balátě, J., Chramcov, B. [2003]. Způsob řízení tepelného výkonu horkovodu za současného působení kvalitativní i kvantitativní části řízení. Příloha č. 1 k závěrečné zprávě o řešení grantového projektu GACR 101/01/0345, číslo výzkumné zprávy: VZ-UTB-FT-IIT/2003/1, UTB ve Zlíně, Fakulta technologická.
- [4] Balátě, J. [2003]. Automatické řízení. BEN, Praha, ISBN 80-7300-020-2.
- [5] Krajča, L. [1998]. Simulace řízení tepelného výkonu horkovodu. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta technologická ve Zlíně.
- [6] Chramcov, B. [2006]. Algoritmy řízení ve výrobě a rozvodu tepla – předpověď denního diagramu dodávky tepla. Disertační práce. UTB ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky.
- [7] Vlach, J. a kol. [1989]. Zásobování teplem a teplárenství. SNTL, Praha.
- [8] Hurých, J. [2005]. Řízení tepelného výkonu horkovodu. Diplomová práce. UTB ve Zlíně, Fakulta technologická.
- [9] Eliáš, J. [2006]. Řízení tepelného výkonu horkovodu – simulace uzavřeného regulačního obvodu. Diplomová práce. UTB ve Zlíně, Fakulta technologická.

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Jaroslav Balátě, DrSc.
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce:

13. února 2007

Termín odevzdání diplomové práce:

28. května 2007

Ve Zlíně dne 13. února 2007

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá simulací kvalitativně-quantitativního algoritmu. Tento algoritmus je určen pro řízení tepelného výkonu v horkovodních systémech centralizovaného zásobování teplem. Pro realizování simulací byl upraven a rozšířen již dříve vyvinutý program, který je vytvořen pro prostředí MATLAB a jeho nástavbu SIMULINK.

Klíčová slova: horkovod, simulace, kvalitativně-quantitativní, MATLAB, SIMULINK.

ABSTRACT

This diploma deals with simulation qualitative - quantitative algorithm. This algorithm is identified for control of heat rate in hot-water systems. For implementation of simulations was modified a program which is created on media MATLAB and SIMULINK.

Keywords: hot-water pipe, simulation, qualitative – quantitative, MATLAB, SIMULINK.

Děkuji tímto svému vedoucímu diplomové práce panu Prof. Ing. Jaroslavovi Balátěmu, DrSc. za odborné vedení práce, za cenné rady a připomínky. Také děkuji panu Ing. Pavlu Navrátilovi, Ph.D. za rady a pomoc při studiu.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 CHARAKTERISTIKA TEPLÁRENSKÝCH SOUSTAV	10
2 ÚVOD DO KVALITATIVNĚ-KVANTITATIVNÍHO ZPŮSOBU ŘÍZENÍ	12
3 ROZBOR DYNAMICKÝCH VLASTNOSTÍ HORKOVODU	14
3.1 CHOVÁNÍ REGULOVANÉ SOUSTAVY PŘI KVALITATIVNÍM ZPŮSOBU ŘÍZENÍ	15
3.2 CHOVÁNÍ REGULOVANÉ SOUSTAVY PŘI KVANTITATIVNÍM ZPŮSOBU ŘÍZENÍ	17
3.3 ELIMINACE DOPRAVNÍHO ZPOŽDĚNÍ PŘI ŘÍZENÍ TEPELNÉHO VÝKONU HORKOVODU.....	18
3.4 PRAKTICKÉ DŮSLEDKY ALGORITMU	22
4 POPIS ŘÍDÍCÍHO ALGORITMU KVALITATIVNĚ- KVANTITATIVNÍHO ZPŮSOBU ŘÍZENÍ	25
4.1 POPIS KVALITATIVNÍ ČÁSTI ALGORITMU ŘÍZENÍ	27
4.2 POPIS KVANTITATIVNÍ ČÁSTI ALGORITMU ŘÍZENÍ	30
4.3 POPIS ČÁSTI PRO VÝPOČET KVALITATIVNÍ KOREKCE II.....	32
5 PŘEDPOVĚD DDDT (DENNÍ DIAGRAM DODÁVKY TEPLA)	35
5.1 METODY VÝPOČTU PŘEDPOVĚDI DDDT.....	35
5.1.1 Metoda s dvojnásobnou filtrací.....	36
5.1.2 Metoda superpozice modelů	36
5.2 ZAHRNUTÍ VLIVU VENKOVNÍ TEPLoty NA PRŮBĚH DDDT	37
6 METODY NASTAVENÍ PID A PSD REGULÁTORŮ	38
6.1 METODA INVERZE DYNAMIKY	38
6.1.1 Volba vzorkovací periody	41
6.2 METODA NASTAVENÍ Z PŘECHODOVÉ CHARAKTERISTIKY	42
7 PROSTŘEDÍ MATLAB	44
II PRAKTICKÁ ČÁST	47
8 POPIS PROGRAMU	48
8.1 MENU PROGRAMU	48
8.2 PRÁCE S PROGRAMEM.....	48
8.3 SIMULAČNÍ SCHÉMA	54
8.3.1 Hlavní simulační schéma	54
8.3.2 Blok „řídící algoritmus“	55
8.3.3 Blok „horkovodní kotle“	56
8.3.4 Blok „čerpadlo“	57
8.3.5 Blok „výpočet teploty ve zpětné větvi“	59
8.3.6 Blok „sít' spotřebitelů“	60
8.3.7 Blok „výpočet skutečného výkonu“	65

8.4	NASTAVENÍ PID REGULÁTORŮ.....	65
9	SIMULACE	69
9.1	SIMULACE 1.....	70
9.2	SIMULACE 2.....	73
9.3	SIMULACE 3.....	76
9.4	SIMULACE 4.....	80
9.5	SIMULACE 5.....	81
	ZÁVĚR.....	83
	CONCLUSION	84
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	85
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	87
	SEZNAM OBRÁZKŮ	90
	SEZNAM TABULEK.....	91
	SEZNAM PŘÍLOH.....	92

ÚVOD

U soustav centralizovaného zásobování teplem je prioritním úkolem dodávat všem odběratelům tepla takové množství energie, aby byla splněna jejich průběžně se měnící poptávka. Tato dodávka se musí řídit ukazateli jakosti. Zde se jedná zejména o udržení předepsané teploty teplotnosného média v přívodní větvi u spotřebitele. Pro zajištění těchto ukazatelů se dnes využívají moderní teplotárenské kotle, přesná elektronika sledující každý krok soustavy a také spolehlivý a hospodárně navržený algoritmus řízení celé soustavy.

Tato práce se zabývá ověřením funkčnosti jednoho z návrhu pro algoritmus řízení. Tento návrh zpracoval Prof. Ing. Jaroslav Balátě, DrSc. a zabývá se kvalitativně-quantitativním způsobem řízení s využitím predikce (předpovědi) průběhu denního diagramu dodávky tepla v horkovodních systémech centralizovaného zásobování teplem a umožňuje eliminovat dopravní zpoždění, které vzniká na cestě mezi zdrojem tepla a jednotlivými spotřebiteli. Toto dopravní zpoždění způsobuje velká vzdálenost, která dosahuje až desítek kilometrů. Dopravní zpoždění je tedy závislé na délce potrubí a také na rychlosti proudění teplotnosného média.

Navržený algoritmus využívá současného a průběžného působení dvou akčních veličin. Je to řízení teploty vody v přívodní větvi, v praxi realizováno změnou tepelného příkonu na vstupu do teplotárenského výměníku, a řízení otáček oběhového čerpadla na základe určených změn hmotnostního toku. Tyto veličiny ovlivňují dodávaný výkon, který je předpověděn na základě denního diagramu dodávky tepla pro danou lokalitu.

V simulacích, které jsou v této práci provedeny, vycházíme z dat, které pocházejí ze skutečných provozů a to z důvodů:

- ověření funkčnosti kvalitativně-quantitativního způsobu řízení a jeho praktické dopady v řízení soustavy,
- ověření správnosti simulačního schématu,
- možnost porovnání dat získaných simulací se skutečnými daty.

Program byl vytvořen v prostředí Matlab, simulační schémata byla vytvořena pomocí nástavby Simulink.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CHARAKTERISTIKA TEPLÁRENSKÝCH SOUSTAV

Teplárenská soustava slouží pro potřeby zásobování spotřebitelů tepelnou energií, přitom zajišťuje výrobu i rozvod této energie. Soustavy centralizovaného zásobování teplem se skládají ze tří hlavních částí:

- jeden či více zdrojů tepla,
- tepelná rozvodná síť,
- jednotlivé spotřebitelské systémy.

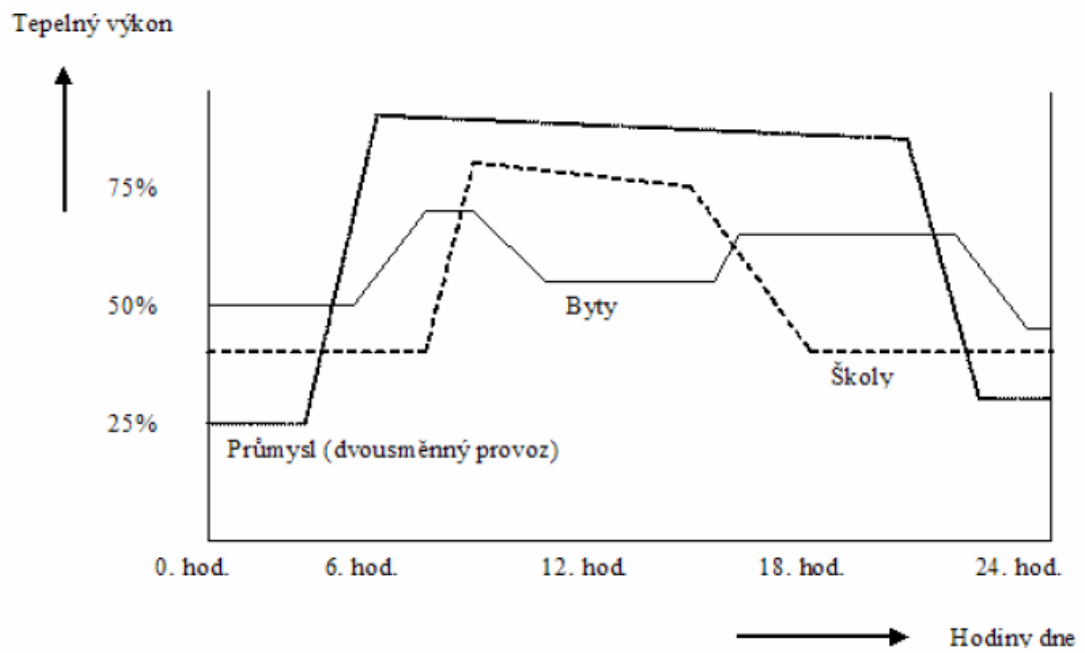
Teplárenské soustavy jsou dále charakteristické tím, že jeden společný tepelný zdroj zásobuje větší počet spotřebitelů, takže je nutné k jejich propojení tepelných sítí.

Pro potřeby centrálního zásobování teplem přicházejí v úvahu dvě teplonosné látky a to buď pára nebo voda. Vzduch nebo jiné plyny nelze prakticky použít, protože mají malou tepelnou kapacitu. Voda do 100 °C se označuje jako teplá a nad 100 °C jako horká. Voda v tepelných sítích má jmenovitou teplotu obvykle vyšší než 100 °C, musí proto být pod tlakem vyšším než je tlak atmosférický. Přenos tepla se uskutečňuje vlivem tepelné jímavosti vody, která se vyznačuje z dostupných látek největší měrnou tepelnou kapacitou. Přenosná schopnost horkovodních sítí je při stejných parametrech protitlakové nebo odběrové páry a stejnému průměru potrubí větší než u sítí parních. Teplonosná látka ve spotřebitelských systémech je určena jejich účelem a typem zařízení a celkovou ekonomickou efektivností.

Cílem optimálního řízení teplárenské sítě je tedy pokrytí spotřeby tepla s přihlédnutím na analýzu dopravního zpoždění.

Spotřebitelské systémy a zařízení se člení podle účelu zásadně na dvě velké skupiny. Pro vytápění, větrání, klimatizaci a pro přípravu teplé užitkové vody a pro výrobní procesy.

[2], [4]



Obr. 1 Typické průběhy denních spotřeb tepla pro různé typy odběratelů

2 ÚVOD DO KVALITATIVNĚ-KVANTITATIVNÍHO ZPŮSOBU ŘÍZENÍ

Algoritmus tzv. kvalitativně-quantitativního způsobu řízení s využitím předpovědi průběhu denního diagramu dodávky tepla v horkovodních systémech centralizovaného zásobování teplem umožňuje eliminovat vliv dopravního zpoždění mezi teplárenským výměníkem ve zdroji tepla a relativně soustředěným odběrem tepla všemi spotřebiteli. Dopravní zpoždění je závislé na rychlosti proudění teplotního média (horké vody) a na délce potrubí napáječe. Nový způsob řízení výkonu horkovodu spočívá v **současném a průběžném působení dvou akčních veličin** ovlivňujících přenášený tepelný výkon a ve využívání předpovědi požadovaného tepelného výkonu v dané lokalitě. Nově navržená metoda řízení byla uvažována pro konkrétní případ, kdy dopravní zpoždění bylo předpokládáno v rozsahu od šesti do dvanácti hodin, v závislosti na spotřebiteli odebíraném tepelném výkonu.

Navržená metoda je řešením způsobu řízení tepelného výkonu ve zdroji tepla.

Současný běžný způsob řízení tepelného výkonu dodávky tepla horkovodem využívá obvykle závislosti na teplotě vody v přívodním potrubí tepelného napáječe nebo také ještě závislosti na teplotě venkovního vzduchu.

Pro řízení tepelného výkonu horkovodu ze zdroje tepla jsou k dispozici dvě akční veličiny (vztah (1)):

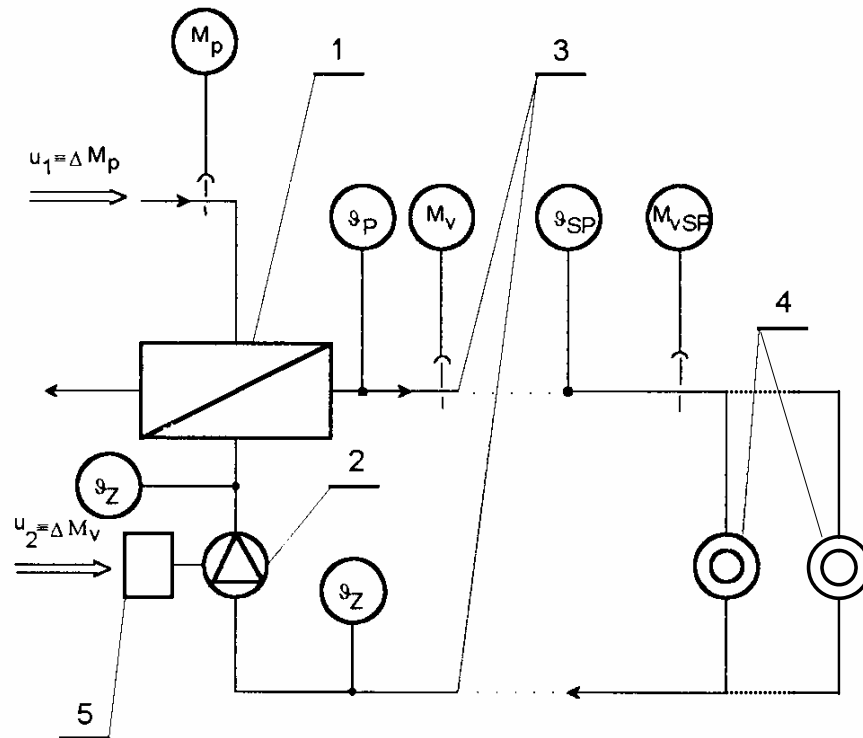
- změna rozdílu teplot v přívodní a zpětné větvi horkovodu, v praxi realizována změnou tepelného příkonu na vstupu do teplárenského výměníku (tzv. kvalitativní způsob řízení tepelného výkonu),
- změna hmotnostního toku horké vody změnou otáček oběhového čerpadla (tzv. kvantitativní způsob řízení tepelného výkonu).

Uvedené akční veličiny bývají obvykle používány jako samostatně působící, a to pouze jedné z nich. Pokud se používají obě, jednalo by se o případ, kdy kvalitativní způsob řízení byl hlavním způsobem řízení a kvantitativního způsobu se používalo spouštěním a zastavováním chodu čerpadel s různým dopravovaným hmotnostním tokem. Těchto kvantitativních změn se využívalo jednorázově při změnách ročních období (letní, přechodové, zimní). Obvykle bylo pro tento účel použito cirkulačních čerpadel dvou nebo tří velikostí hmotnostního toku.

Nevýhodou popsaných způsobů řízení je skutečnost, že úplně nezahrnují dynamické vlastnosti regulované soustavy (řízeného systému). Dopravní zpoždění v přívodní větvi tepelného přiváděče a zpoždění setrvačných členů teplotního výměníku zůstávají opomenuty. Jestliže se změní výkon odebíraný v některém místě horkovodní sítě, potom odpovídající výkon zdrojů (výroby) řízený klasickým kvalitativním způsobem se sice přizpůsobí se značným zpožděním, i když samoreglativně dojde ke změně hmotnostního toku horké vody vlivem autoreglativních vlastností statické charakteristiky dopravního čerpadla zapříčiněné změnou pracovního bodu čerpadla.. Změna odběru tepelného výkonu se uskuteční působením autonomních regulátorů teploty v sekundárních sítích odběratelsko-předávacích stanic (obrázek 3 položka 6). Vznikne tím nesplnění některého z požadavku na předepsané ukazatele jakosti teplotního média. [4]

3 ROZBOR DYNAMICKÝCH VLASTNOSTÍ HORKOVODU

Technologické schéma zařízení horkovodu je principiálně znázorněno na obrázku 2. Zobrazený případ má zařazeno oběhové (dopravní) čerpadlo na konci zpětného potrubí před výměňkovou stanicí.



Obr. 2 Principiální schéma horkovodu

1 - teplotěnský výměník tepla ve zdroji tepla, 2 - oběhové čerpadlo, 3 - horkovod (potrubní řád tepelného napáječe), 4 - spotřebitelé (výměníky v odběratelsko-předávacích stanicích), 5 - měnič otáček čerpadel

kde: $\vartheta_z [^{\circ}\text{C}]$ - teplota ve zpětné větvi horkovodu,

$\vartheta_p [^{\circ}\text{C}]$ - teplota v přívodní větvi horkovodu,

$\vartheta_{SP} [^{\circ}\text{C}]$ - teplota horké vody v přívodní větvi v místě spotřebitelů,

$M_v [kg \cdot s^{-1}]$ - hmotnostní průtok teplotonosného média na výstupu z výměníku,

$M_{vSP} [kg \cdot s^{-1}]$ - hmotnostní průtok teplotonosného média v přívodní v místě spotřebitelů,

$M_p [kg \cdot s^{-1}]$ - hmotnostní průtok páry na vstupu do teplotěnského výměníku,

$u_1[-]$ - akční veličina 1 (změna hmotnostního průtoku páry),

$u_2[-]$ - akční veličina 2 (změna otáček oběhových čerpadel).

K řízení tepelného výkonu horkovodu pro dodávku tepla do tepelné sítě jsou k dispozici, jak již bylo zmíněno v kapitole 2, dvě akční veličiny:

- pro kvalitativní způsob řízení změna rozdílu mezi teplotami vody v přívodním a zpětném potrubí horkovodu, realizovaná změnou tepelného příkonu v páře na vstupu do teplotěnského výměníku,
- pro kvantitativní způsob řízení změna hmotnostního toku horké vody realizovaná změnou otáček oběhového čerpadla.

Platí vztah:

$$P_T = M_v \cdot c \cdot \Delta\vartheta \quad (1)$$

↑
kvantitativní
způsob řízení

↑
kvalitativní
způsob řízení

kde: $P_T [W]$ - tepelný výkon horkovodu,

$M_v [kg \cdot s^{-1}]$ - hmotnostní tok teplotnosného média,

$\Delta\vartheta [^{\circ}C]$ - teplotní spád,

$c [J \cdot kg^{-1} K^{-1}]$ - měrná tepelná kapacita.

3.1 Chování regulované soustavy při kvalitativním způsobu řízení

Při kvalitativním způsobu řízení se horkovod chová jako proporcionalní systém se setrvačností vyššího řádu s dopravním zpožděním, vyjádřeno přenosem (2)

$$G_v^{kval}(s) = \frac{\Delta\Theta_{SP}(s)}{\Delta M_p(s)} = \frac{k^{kval}}{1 + T_1 s + T_2^2 s^2 + T_3^3 s^3} e^{-sT_d}, \quad (2)$$

kde: $k^{kval} [-]$ - zesílení proporcionálního řízeného systému,

$T_1, T_2, T_3 [s]$ - časové kapacity setrvačných členů řízeného systému,

$T_d [s]$ - dopravní zpoždění,

$M_p [kg \cdot s^{-1}]$ - hmotnostní tok páry na vstupu teplotního výměníku.

Dynamické vlastnosti jsou definovány chováním teplotního výměníku a bývají nejčastěji popsány vlastnostmi proporcionálního systému se setrvačností třetího řádu ($n = 3$). Časové konstanty přechodového děje (doba průtahu, náběhu, přechodu) však nabývají hodnot desítek minut a jsou závislé na hmotnostním průtoku ohřívání vody výměníkem.

Dopravní zpoždění v horkovodní síti je funkcí hmotnostního průtoku oběhové vody a je dáno vztahem:

$$T_d = f(M_v) = \frac{l \cdot S \cdot \rho_v}{M_v} [s], \quad (3)$$

kde: $l [m]$ - délka sledovaného úseku potrubí,

$S [m^2]$ - průřez potrubí přírodní větve tepelného napáječe,

$\rho_v [kg \cdot m^{-3}]$ - hustota oběhové vody,

$M_v [kg \cdot s^{-1}]$ - hmotnostní tok vody.

Popsaná úvaha má své opodstatnění v případech obdobných, pro jaký byla provedena, tj. v lokalitách, kde relativně soustředěný odběr tepla je značně vzdálený od zdroje tepla (např. úvaha budování tepelného napáječe z JE Dukovany do systému centralizovaného zásobování teplem v Brně).

Z výše uvedeného je zřejmé, že kvalitativní způsob řízení se projevuje u odběratele tepla s časovým posunem odpovídajícím dopravnímu zpoždění. Platí tedy:

$$\mathcal{G}_{SP}(t + T_d) = \mathcal{G}_P(t) [^\circ C], \quad (4)$$

kde: $\mathcal{G}_{SP} [^\circ C]$ - teplota u spotřebitele,

$\vartheta_p [^{\circ}C]$ - teplota v přívodní větvi.

Akční veličina u_1 , tj. rozdíl teplot vody na vstupu a výstupu teplotního výměníku, se určí výpočtem ze vztahu:

$$u_1 \equiv \Delta\vartheta = \vartheta_p - \vartheta_z = \frac{P_T}{M_v \cdot c}, \quad (5)$$

kde: $\vartheta_p [^{\circ}C]$ - teplota v přívodní větvi,

$\vartheta_z [^{\circ}C]$ - teplota ve zpětné větvi horkovodu,

$u_1 [-]$ - akční veličina 1 (změna hmotnostního toku páry),

$P_T [W]$ - tepelný výkon horkovodu,

$M_v [kg \cdot s^{-1}]$ - hmotnostní tok vody v reálném čase,

$c [J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$ - měrná tepelná kapacita.

3.2 Chování regulované soustavy při kvantitativním způsobu řízení

Kvantitativní způsob řízení realizuje měničem otáček oběhového čerpadla změnu hmotnostního toku cirkulující vody a tím i změnu dodávaného tepelného výkonu (1). Zahrnuje setrvačnost měniče otáček a obsahuje i časovou konstantu potrubí, která postihuje dobu potřebnou k urychlení, popř. zpomalení cirkulující hmoty nestlačitelného teplotního média. Vlastní horkovod (potrubí) se chová jako proporcionální systém bez setrvačnosti. Uvedené vlastnosti lze vyjádřit přenosem $G_s^{kvant}(s)$

$$u_2 \equiv G_s^{kvant}(s) = \frac{\Delta M_{vSP}(s)}{\Delta M_v(s)} = \frac{k^{kvant}}{1 + T_1' s + T_2'^2 s^2} \cdot \frac{1}{1 + T_3' s} \doteq 1, \quad (6)$$

kde: $T_3' [s]$ - doba rozběhu potrubí,

$T_1', T_2' [s]$ - parametry přenosu měniče otáček,

$k_{kvant} [-]$ - zesílení řízeného systému v kvantitativní části,

$M_v [kg \cdot s^{-1}]$ - hmotnostní tok teplotního média na výstupu z výměníku,

$M_{vSP} [kg \cdot s^{-1}]$ - hmotnostní tok teplotního média v místě spotřebitelů,

$u_2 [-]$ - akční veličina 2 (změna otáček oběhových čerpadel).

Časové konstanty setrvačnosti měničů otáček T_1' a T_2' jsou definovány druhem měniče (hydraulické spojky, elektrického měniče otáček), časová konstanta T_3' (7) je definována délkou potrubí, rychlostí teplotního média a dopravní výškou oběhového čerpadla. Jsou obecně mnohem menší (řádově sekundy, desítky sekund) než časové konstanty ve vztahu (2), tj. než časové konstanty teplotního výměníku (řádově desítky minut).

T_3' je čas, který horká voda potřebuje k tomu, aby z klidu nabyla rychlost c_{\max} příslušející maximálnímu hmotnostnímu toku $M_{v,\max}$ působením dopravní výšky čerpadla H_{\max} .

$$T_3' = \frac{l \cdot c_{\max}}{g \cdot H_{\max}} [s], \quad (7)$$

kde: $H_{\max} [m]$ - dopravní výška čerpadla,

$M_{v,\max} [kg \cdot s^{-1}]$ - maximální hmotnostní tok vody,

$l [m]$ - délka sledovaného úseku potrubí,

$g [m \cdot s^{-2}]$ - gravitační zrychlení,

$c_{\max} [m \cdot s^{-1}]$ - rychlost, kterou voda potřebuje aby nabyla maximálního hmotnostního toku.

Je však velmi důležité, že přenos (6) neobsahuje dopravní zpoždění (je vzhledem k přenosu (2) zanedbatelné).

Z uvedeného je zřejmé, že z hlediska dynamických vlastností má kvantitativní způsob řízení výkonu horkovodu své výhody. Přesto je dosud velmi zřídka využíván.

3.3 Eliminace dopravního zpoždění při řízení tepelného výkonu horkovodu

Odstranit vliv dopravního zpoždění při řízení tepelného výkonu horkovodního napáječe lze současným a nepřerušovaným řízením dvěma akčními veličinami, tj. řízením teplotního spádu na teplotním výměníku a řízením hmotnostního toku oběhové vody - teplotního média.

Podstata metody spočívá v opravě odchylky vznikající při použití kvalitativního způsobu řízení u_1 (s přenosem 2) zatíženého dopravním zpožděním (3) využitím kvantitativního způsobu řízení u_2 (s přenosem 6), který není zatížen dopravním zpožděním a může působit téměř bezprostředně.

Prakticky se uskuteční výpočet odchylky:

$$\Delta P_{T,T(i)} = P_{T,T(i-j)}^p - P_{T,T(i)}^s [W], \quad (8)$$

kde: $\Delta P_{T,T} [W]$ - rozdíl mezi předpověděným tepelným výkonem $P_{T,T}^p$ podle predikovaného průběhu denního diagramu dodávky tepla – DDDT (správně tepelného výkonu) pro čas T a skutečně odebíraným tepelným výkonem všemi spotřebiteli $P_{T,T}^s$,

$P_T [W]$ - tepelný výkon horkovodu,

$P_{T,T} [W]$ - tepelný výkon horkovodu v čase T , ve kterém se projeví působení akční veličiny u_1 – kvalitativního způsobu řízení u lokálně soustředěných spotřebitelů

$T [s]$ - čas, kdy se kvalitativní způsob řízení projeví u spotřebitelů,

$P_{T,T}^s [W]$ - je skutečně odebíraný tepelný výkon všemi spotřebiteli v čase T :

$$T = RT + T_d^p + T_{prech} [s] \quad (9)$$

kde: $RT [s]$ - reálný čas, ve kterém působí akční veličina u_1

$T_d^p [s]$ - vypočítané dopravní zpoždění

$T_{prech} [s]$ - doba přechodu teplotního výměníku odečtená ze změřené přechodové charakteristiky ($T_{prech} = f(M_v)$).

Algoritmus pro takový způsob řízení byl navržen a simulačně prověřován. Byl nazván kvalitativně-quantitativním způsobem řízení tepelného výkonu horkovodu s využitím předpovědi průběhu denního diagramu dodávky tepla.

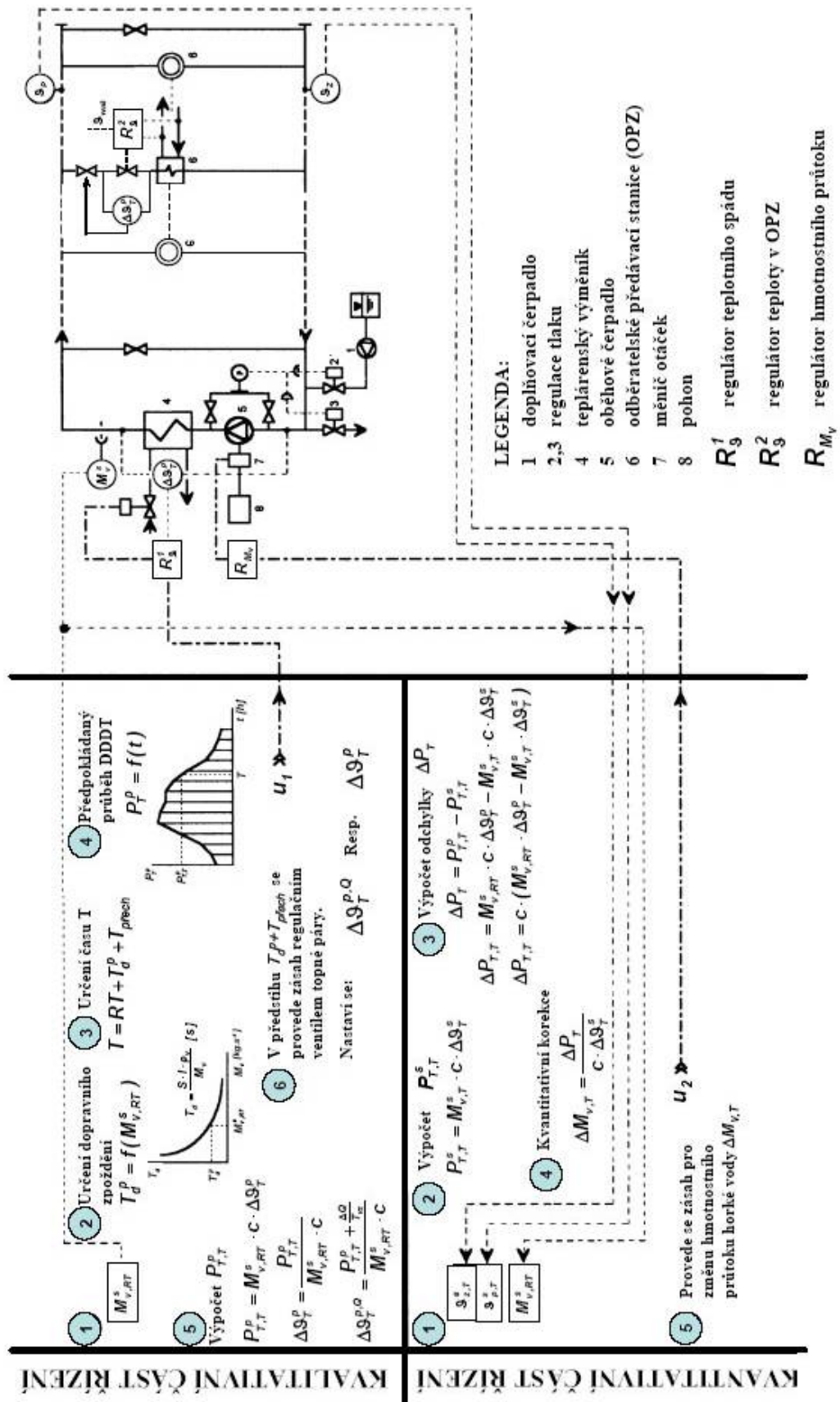
Algoritmus výše popsaného a nazvaného způsobu řízení, tj. použitím dvou akčních veličin a to samostatně pro kvalitativní způsob a kvantitativní způsob řízení, je zobrazen na obrázku 3.

Posloupnost kvalitativního způsobu řízení je následující:

- změření hmotnostního toku teplotnosného média (horké vody) $M_{v,RT}^s$ (krok 1),
- určení dopravního zpoždění T_d^p (krok 2),
- určení doby, za kterou se působení (zásah) kvalitativního způsobu řízení projeví u spotřebitelů T podle vztahu (9) (krok 3),
- výpočet tepelného výkonu $P_{T,T}^p$, který je nastavován kvalitativním způsobem řízení, zahrnující i korekci tepelného obsahu v přívodní větvi napáječe (krok 4), (krok 5),
- přeměna řídicího signálu na akční veličinu, tj. na polohu regulačního ventilu přívodní páry na vstupu do teplotárenského výměníku (krok 6).

Posloupnost kvantitativního způsobu řízení je tato:

- změření skutečných (aktuálních) hodnot parametrů potřebných pro další výpočet $g_{P,T}^s$, $g_{Z,T}^s$, $M_{v,T}^s$ (krok 1),
- výpočet skutečného odebíraného tepelného výkonu v místě spotřebitelů $P_{T,T}^s$ (krok 2),
- výpočet odchylky kvalitativního způsobu řízení a skutečného odebíraného (aktuálního) výkonu u spotřebitelů - $\Delta P_{T,T}$ (krok 3)
- výpočet kvantitativní korekce tepelného výkonu $\Delta M_{v,T}$ (krok 4),
- přeměna řídicího signálu na akční veličinu, tj. na hodnotu otáček oběhového (cirkulačního) čerpadla (krok 5).



Obr. 3 Algoritmus kvalitativně-quantitativního řízení dodávky tepla horkovodem

Legenda k obrázku 3:

c - měrná tepelná kapacita, l - délka přívodní větve tepelného napáječe, RT - reálný čas (čas, ve kterém působí akční veličina kvalitativního způsobu řízení na teplotěnském výměníku), S - průřez přívodní větve napáječe, T - čas, ve kterém se projeví působení akční veličiny kvalitativního způsobu řízení u lokálně soustředěných spotřebitelů, T_d - dopravní zpoždění, T_d^p - předpokládané dopravní zpoždění, T_{pr} - časový předstih, T_{prech} - doba přechodu teplotěnského výměníku při působení akční veličiny, T_{VZ} - perioda vzorkování (asi 15 minut), M_v - hmotnostní tok oběhové (cirkulační) vody, $M_{v,RT}^s$ - skutečný hmotnostní tok oběhové vody v čase RT , $M_{v,T}^s$ - skutečný hmotnostní tok oběhové vody v čase T , P_T - tepelný výkon horkovodu, P_T^p - předpokládaný tepelný výkon odečtený z predikovaného denního diagramu dodávky tepla (DDDT), $P_{T,T}^p$ - předpokládaný tepelný výkon v čase T , $P_{T,T}^s$ - skutečný změřený (vypočtený) tepelný výkon v čase T , $\mathcal{G}_{p,T}^s$ - skutečná teplota v přívodní větvi napáječe u spotřebitelů v čase T , $\mathcal{G}_{z,T}^s$ - skutečná teplota ve zpětné větvi napáječe u spotřebitelů v čase T , $\Delta P_{T,T}$ - odchylka mezi předpokládaným a skutečným odebíraným tepelným výkonem v čase T , $\Delta M_{v,T}$ - kvantitativní korekce, tj. změna hmotnostního toku oběhové vody, ΔQ - změna tepelného obsahu v přívodní větvi napáječe zapříčiněná kvantitativní korekcí, $\Delta \mathcal{G}_T^s$ - skutečný teplotní spád u spotřebitelů v čase T , $\Delta \mathcal{G}_T^p$ - předpokládaný teplotní spád na teplotěnském výměníku v čase T , který se vypočte z $P_{T,T}^p$ a je akční veličinou kvalitativního způsobu řízení, $\Delta \mathcal{G}_T^{p,Q}$ - předpokládaný teplotní spád na teplotěnském výměníku v čase T , zahrnující korekci tepelného obsahu v příváděcí větvi napáječe ΔQ . Toto teplo je nutné přivést, popř. o ně zmenšit přívod tepla v závislosti na smyslu (znaménka) kvantitativní korekce $\Delta M_{v,T}$, ρ_1 - měrná hmotnost oběhové vody v příváděcí větvi napáječe. [2], [4]

3.4 Praktické důsledky algoritmu

Předvedený způsob řízení (obrázek 3) představuje **vlastní princip**.

Prakticky využívá:

- autoregulační vlastnosti Q - Y charakteristiky dopravního (cirkulačního) čerpadla. Tato skutečnost je zřejmá z obr. 4, kde je naznačeno posunutí polohy pracovního

bodů čerpadla jak při zvýšení odběru objemového toku tak i při jeho snížení (snížení odběru tepla odběrateli). Kvantitativní část řízení působí prakticky jako regulace na konstantní polohu odporové křivky (charakteristiky) potrubí,

- korekce tepelného obsahu v přívodní větvi tepelného napáječe. Tato skutečnost vyplývá z nutnosti udržet tepelný obsah příváděcí větve horkovodu i po zásahu korekce dodávaného výkonu působením kvantitativní části řízení. Jakékoli množství tepla odebrané nebo neodebrané (tedy na výstupu z příváděcí větve horkovodu) vzhledem ke stanovenému tepelnému výkonu kvalitativním způsobem řízení musí být uvedeno do souladu s řídicím signálem kvalitativní části řízení na vstupu do horkovodu. Korekce vyplývá ze vztahu

$$\Delta \mathcal{G}_T^{p,Q} = \frac{P_{T,T}^p + \frac{\Delta Q}{T_{VZ}}}{M_{v,RT}^s \cdot c} [^{\circ}C], \quad (10)$$

kde: $\Delta \mathcal{G}_T^{p,Q} [^{\circ}C]$ - předpokládaný teplotní spád na teplotěnském výměníku v čase T zahrnující korekci tepelného obsahu v příváděcí větvi napáječe ΔQ . Toto teplo je nutné přivést, popř. o ně zmenšit přívod tepla v závislosti na smyslu (znaménka) kvantitativní korekce $\Delta M_{v,T}$,

$P_{T,T}^p [W]$ - předpokládaný tepelný výkon odečtený z předpověděného denního diagramu dodávky tepla (DDDT),

$\Delta Q [W \cdot s^{-1}]$ - změna tepelného obsahu v přívodní větvi napáječe zapříčiněná kvantitativní korekcí,

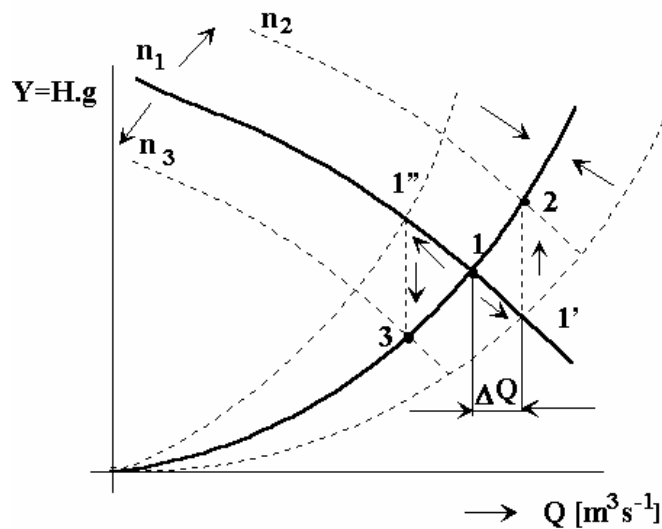
$T_{VZ} [s]$ - perioda vzorkování (asi 15 minut),

$M_{v,RT}^s [kg \cdot s^{-1}]$ - skutečný hmotnostní tok oběhové vody v čase RT ,

$c [J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$ - měrná tepelná kapacita.

Pro vlastní nasazení do konkrétních podmínek je nutné jádro programu řízení ošetřit tak, aby byly splněny:

- *minimalizace čerpací práce oběhového (oběhových) čerpadel*, což lze docílit vhodným průběžným nastavováním pracovního bodu čerpadla tak, že se sleduje potřebný tlakový spád na nejvzdálenější odběratelsko-předávací stanici,
- *minimalizace tepelných ztrát tepelného napáječe*, což algoritmus řízení docílí řízením proměnlivé teploty horké vody na vstupu do přiváděcí větve horkovodu a tím je dodáváno teplo při minimálním potřebném tepelném potenciálu, čímž se sníží tepelné ztráty.



Obr. 4 Q-Y charakteristika dopravního čerpadla

Použití popsané metody je výhodné v případech, kdy odběratelé tepla jsou relativně lokálně soustředěni, např. soustava centralizovaného zásobování teplem je vzdálena od zdroje tepla (teplárenského výměníku) a při běžně užívaném kvalitativním způsobu řízení nutně vzniká nezanedbatelné dopravní zpoždění. V takovém případě je při řízení výkonu dodávaného horkovodem nezbytná eliminace dopravního zpoždění. Pro řízení je nutné využívat předpovědi průběhu denního diagramu dodávky tepla. Je možné jej počítat v reálném čase a to pouze pro časový interval jen o málo delší, než jaké je dopravní zpoždění. [2], [4]

4 POPIS ŘÍDÍCÍHO ALGORITMU KVALITATIVNĚ- KVANTITATIVNÍHO ZPŮSOBU ŘÍZENÍ

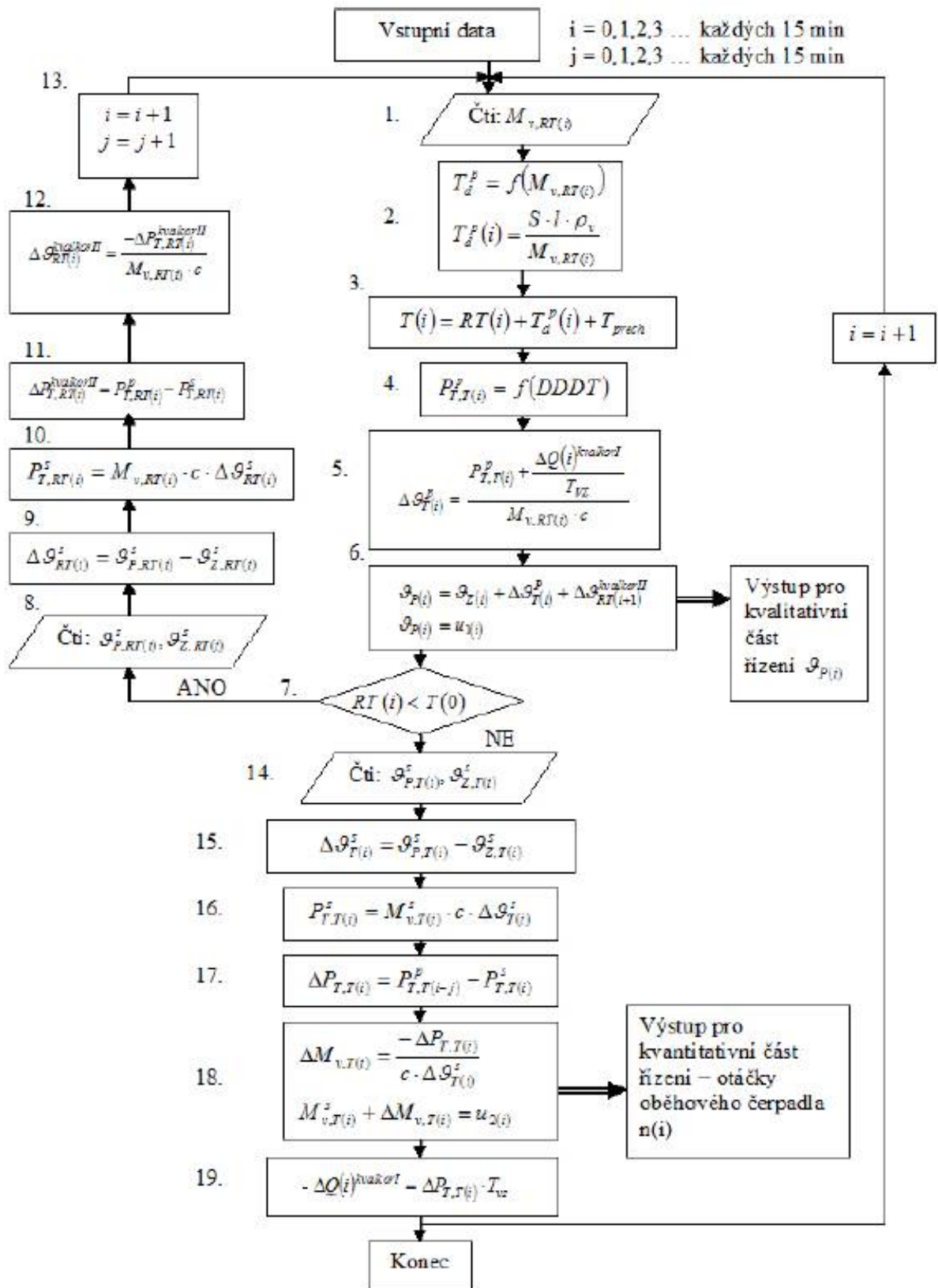
Konkrétní algoritmus použitý pro řízení kvalitativně-quantitativním způsobem je uveden na obrázku 5. Výstupem řídicího algoritmu jsou dvě akční veličiny:

- *teplota v přívodní větvi horkovodu*, která se v praxi mění změnou tepelného příkonu na vstupu do teplotařenského výměníku;
- *hmotnostní tok horké vody* změnou otáček oběhového čerpadla.

Po zásahu na změnu dodávaného výkonu působením kvantitativní části řízení (hmotnostním tokem) je nutné zavést **kvalitativní korekci I**, aby byl udržen tepelný obsah v příváděcí větvi horkovodu. Korekce je v řídicím algoritmu označena $\Delta Q(i)^{kvalkorI}$ a je určena na základě kladné nebo záporné odchylky předpokládaného tepelného výkonu $P_{T,T(i)}^p$ a skutečného tepelného výkonu $P_{T,T(i)}^s$ vztahy (21), (24). Důsledkem tohoto zásahu je cíl, aby kvantitativní část řízení změnou otáček dopravního čerpadla vrátila odporovou křivku potrubí do své původní polohy.

Do doby $T(0)$, což je doba, kdy se řízení dodávaného výkonu projeví u spotřebitelů, je řízení předpokládaného tepelného výkonu $P_{T,T(i)}^p$ prováděno pouze podle předpovědi denního diagramu dodávky tepla. V čase menším než $T(0)$ působí jen kvalitativní část řízení, tzn. že nepůsobí kvantitativní část řízení. Z tohoto důvodu je do řídicího algoritmu přidána další tzv. **kvalitativní korekce II**, jejímž cílem je udržet přibližně tepelný obsah v příváděcí větvi horkovodu do doby než začne působit kvantitativní část řízení. Korekce je označena $\mathcal{G}_{RT(i)}^{kvalkorII}$.

Za vstupní hodnoty pro algoritmus řízení můžeme považovat veličiny, které charakterizují rozměry potrubí a vlastnosti teplotnosného média, tj. délka potrubí, průřez potrubí, hustota teplotnosného média a měrná tepelná kapacita. Dalšími potřebnými vstupy jsou denní diagram dodávky tepla, pro určení předpokládaného tepelného výkonu $P_{T,T(i)}^p$ a určení reálného času (RT).



Obr. 5 Schéma algoritmu kvalitativně-quantitativního způsobu řízení včetně kvalitativní korekce II

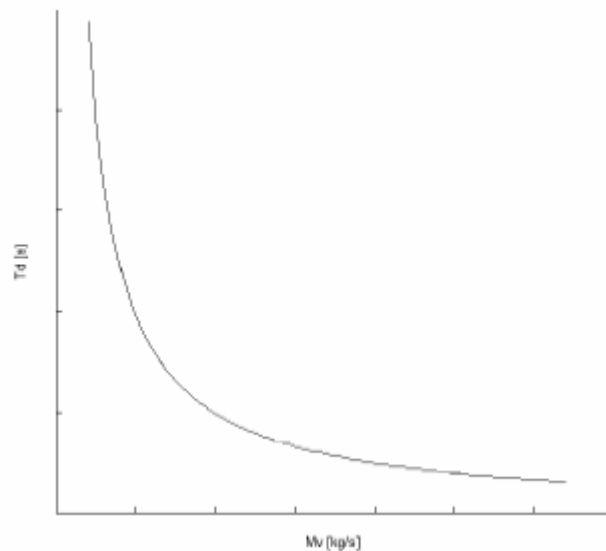
4.1 Popis kvalitativní části algoritmu řízení

Krok 1.

V tomto kroku načítá řídicí algoritmus hodnotu hmotnostního toku vody $M_{v,RT(i)}$ v reálném čase RT .

Krok 2.

Krok slouží pro určení dopravního zpoždění $T_{d(i)}^p$ podle vztahu (3) a jeho závislosti $T_{d(i)}^p = f(M_{v,RT(i)})$. Jedná se o hyperbolickou závislost vyjádřenou na obrázku 6.



Obr. 6 Závislost dopravního zpoždění na hmotnostním toku

Krok 3.

Určení doby, za kterou se řízení dodávaného výkonu projeví u spotřebitelů.

$$T(i) = RT(i) + T_{d(i)}^p + T_{prech} [s], \quad (11)$$

kde: $T(i)[s]$ - čas, ve kterém se projeví působení akční veličiny u spotřebitelů,

$RT(i)[s]$ - reálný čas,

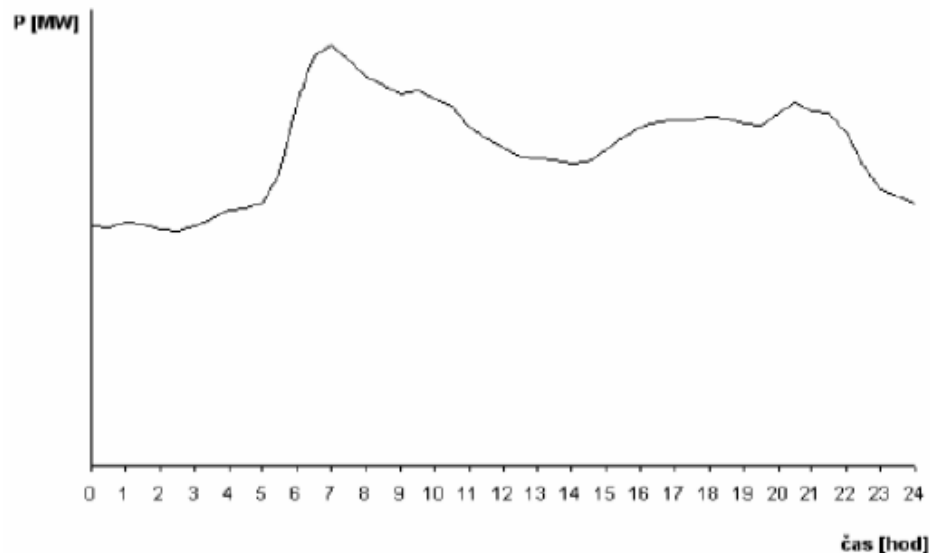
$T_{d(i)}^p [s]$ - předpokládané dopravní zpoždění,

$T_{prech} [s]$ - doba přechodu teplotního výměníku.

Krok 4.

Určení předpokládaného tepelného výkonu, který se určuje na základě predikce denního diagramu dodávky tepla (obrázek 7), v čase T .

$$P_{T,T(i)}^p = f(T(i)) = f(DDDT)[MW], \quad (12)$$



Obr. 7 Předpokládaný denní diagram dodávky tepla

Krok 5.

Výpočet tepelného spádu, který je nastavován kvalitativním způsobem řízení. Vyjádříme ho pomocí vztahu, který platí pro tepelný výkon:

$$P_{T,T(i)}^p = M_{v,RT(i)} \cdot c \cdot \Delta \vartheta_{T(i)}^p - \frac{\Delta Q(i)^{kvalkorl}}{T_{VZ}} [W], \quad (13)$$

kde: $P_{T,T(i)}^p [W]$ - předpokládaný tepelný výkon v čase T ,

$M_{v,RT(i)} [kg \cdot s^{-1}]$ - hmotnostní tok vody v čase RT ,

$c [J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$ - měrná tepelná kapacita vody,

$\Delta Q(i)^{kvalkorl} [W \cdot s^{-1}]$ - korekce na udržení tepelného obsahu v přívodní větvi horkovodu,

$\Delta \vartheta_{T(i)}^p [^{\circ}C]$ - předpokládaný tepelný spád v čase T ,

$T_{VZ}[s]$ – vzorkovací perioda.

Ze vztahu (13) tedy určíme vztah pro výpočet $\Delta \mathcal{G}_{T(i)}^p$ takto:

$$\Delta \mathcal{G}_{T(i)}^p = \frac{P_{T,T(i)}^p + \frac{\Delta Q(i)^{kvalkorl}}{T_{VZ}}}{M_{v,RT(i)} \cdot c} [^{\circ}C], \quad (14)$$

Krok 6.

Zde je určena teplota v přívodní větvi $\mathcal{G}_{p(i)}$, kterou nastaví podřízený regulační obvod tepelného příkonu v přívodní páře na vstupu do hlavního teplotěnského výměníku.

$$u_{1(i)} \equiv \mathcal{G}_{p(i)} = \mathcal{G}_{z(i)} + \Delta \mathcal{G}_{T(i)}^p [^{\circ}C], \quad (15)$$

kde: $\mathcal{G}_{p(i)} [^{\circ}C]$ - teplota v přívodní větvi,

$\mathcal{G}_{z(i)} [^{\circ}C]$ - teplota ve zpětné větvi,

$\Delta \mathcal{G}_{T(i)}^p [^{\circ}C]$ - předpokládaný tepelný spád v čase T ,

$u_{1(i)} [-]$ - akční veličina kvalitativního řízení.

Krok 7.

Zde je uvedeno rozhodování, zda teplotonosné médium již došlo ke spotřebitelům, což lze vyjádřit vztahem:

$$RT(i) < T(0). \quad (16)$$

Dokud platí tato podmínka, tak cyklicky probíhá pouze kvalitativní část řízení, ale pokud je tato podmínka porušena (tzn. teplotonosné médium již dorazilo ke spotřebitelům), pak lze zahájit kvantitativní část řízení.

Krok 8.

Takto je zajištěno posunutí RT o daný časový úsek:

$$i = i + 1, \quad (17)$$

a v rovnici (18) je uvedeno počítadlo, které je zavedeno z důvodu potřeby porovnání stejných hodnot, protože v algoritmu nejdříve probíhá j kroků kvalitativní část a je tedy nutné se při výpočtu diference předpokládaného $P_{T,T(i)}^p$ a skutečného $P_{T,T(i)}^s$ tepelného výkonu ve vztahu (21) vrátit o j kroků zpět [6]

$$j = j + 1. \quad (18)$$

4.2 Popis kvantitativní části algoritmu řízení

Jelikož tato část algoritmu řízení není zatížena dopravním zpožděním, což plyne ze vztahu (6), můžeme s ní korigovat rozdíl mezi předpokládaným tepelným výkonem $P_{T,T(i)}^p$ a skutečným tepelným výkonem $P_{T,T(i)}^s$, který je odebírán spotřebiteli. Rozdíl mezi těmito hodnotami vzniká tím, že DDDT je pouze odhad průběhu potřebného tepelného výkonu, a proto se liší od skutečně odebíraného tepelného výkonu.

Krok 9. a 10.

Načtení skutečných parametrů tak jak byly změřeny u spotřebitele. Právě tyto hodnoty jsou základem výpočtu v kvantitativní části algoritmu. Jsou to skutečné hodnoty hmotnostního toku $M_{v,T(i)}$ a teploty v přívodním $\mathcal{G}_{P,T(i)}^s$ a vratném $\mathcal{G}_{Z,T(i)}^s$ potrubí v čase T . Pomocí těchto hodnot určíme skutečný teplotní spád podle rovnice:

$$\Delta \mathcal{G}_{T(i)}^s = \mathcal{G}_{P,T(i)}^s - \mathcal{G}_{Z,T(i)}^s [^{\circ}C], \quad (19)$$

kde: $\mathcal{G}_{T(i)}^s [^{\circ}C]$ - skutečný teplotní spád v čase T u spotřebitelů,

$\mathcal{G}_{P,T(i)}^s [^{\circ}C]$ - teplota v přívodní větvi horkovodu,

$\mathcal{G}_{Z,T(i)}^s [^{\circ}C]$ - teplota ve vratné větvi horkovodu.

Krok 11.

Výpočet skutečného odebíraného výkonu v část T tedy probíhá podle vztahu:

$$P_{T,T(i)}^s = M_{v,T(i)}^s \cdot c \cdot \Delta \mathcal{G}_{T(i)}^s [W], \quad (20)$$

kde: $P_{T,T(i)}^s [W]$ - skutečný tepelný výkon v čase T ,

$M_{v,T(i)}^s [kg \cdot s^{-1}]$ - skutečný hmotnostní tok vody v čase T ,

$c [J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$ - měrná tepelná kapacita vody,

$\Delta \mathcal{G}_{T(i)}^s [^{\circ}C]$ - skutečný tepelný spád v čase T u spotřebitele.

Krok 12.

Výpočtem rozdílu mezi předpokládaným tepelným výkonem a skutečně odebíraným tepelným výkonem u spotřebitele získáme odchylku tepelného výkonu $\Delta P_{T,T(i)}$ vyjádřenou vztahem:

$$\Delta P_{T,T(i)} = P_{T,T(i-j)}^p - P_{T,T(i)}^s [W], \quad (21)$$

kde: $\Delta P_{T,T(i)} [W]$ - difference předpokládaného a skutečně odebíraného výkonu v čase T ,

$P_{T,T(i)}^s [W]$ - skutečný tepelný výkon v čase T ,

$P_{T,T(i-j)}^p [W]$ - předpokládaný tepelný výkon v čase T .

Rozdíl $i-j$ ve vztahu (21) je z důvodu porovnávání odpovídajících hodnot, protože v algoritmu nejdříve probíhá j kroků pouze kvalitativní část a je tedy nutné se při výpočtu vrátit o j kroků zpět a tak zajistit porovnávání odpovídajících hodnot skutečného a předpokládaného tepelného výkonu.

Pozn.: Uvažujeme příklad $RT = 8$ hod, dopravní zpoždění $T_d = 10$ hod, a vzorkovací perioda 15 min.

Potom rozdíl $\Delta P_{T,T(i)}$ v čase 22 hod. odpovídá $P_{T,T(i-j)}^p - P_{T,T(i)}^s$,

kde: $P_{T,T(i)}^s [W]$ - skutečný tepelný výkon v čase 22 hod,

$P_{T,T(i-j)}^p [W]$ - předpokládaný tepelný výkon v čase 22 hod – 10 hod, tj. v čase 12 hod.

Krok 13.

Z difference tepelného výkonu $\Delta P_{T,T(i)}$ určené ve vztahu (21) lze dále určit změnu hmotnostního toku $\Delta M_{v,T(i)}$ oběhové vody, což je kvantitativní korekce:

$$\Delta M_{v,T(i)} = \frac{-\Delta P_{T,T(i)}}{c \cdot \Delta \vartheta_{T(i)}^s} [kg \cdot s^{-1}], \quad (22)$$

kde: $\Delta M_{v,T(i)} [kg \cdot s^{-1}]$ - korekce hmotnostního toku vody v čase T ,

$-\Delta P_{T,T(i)} [W]$ - difference předpokládaného a skutečně odebíraného výkonu v čase T ,

$c [J.kg^{-1}K^{-1}]$ - měrná tepelná kapacita vody,

$\Delta \mathcal{G}_{T(i)}^s [^{\circ}C]$ - skutečný teplotní spád v čase T u spotřebitele.

Změna hmotnostního toku $\Delta M_{v,T(i)}$ se přičítá ke skutečnému hmotnostnímu toku a získá se tak akční veličina pro kvantitativní řízení, na základě které se pomocí měniče otáček nastaví oběhové čerpadlo:

$$M_{v,T(i)}^s + \Delta M_{v,T(i)} \equiv u_2. \quad (23)$$

Krok 14.

Uřídí se zde korekce na udržení tepelného obsahu v přívodní větvi horkovodu podle vztahu:

$$\Delta Q(i)^{kvalkorI} = \Delta P_{T,T(i)} \cdot T_{VZ} [W.s^{-1}], \quad (24)$$

kde: $\Delta P_{T,T(i)} [W]$ - diference předpokládaného a skutečně odebíraného výkonu v čase T ,

$\Delta Q(i)^{kvalkorI} [W.s^{-1}]$ - korekce na udržení tepelného obsahu v přívodní větvi horkovodu,

$T_{VZ} [s]$ - perioda vzorkování.[6]

4.3 Popis části pro výpočet kvalitativní korekce II

Kroky 1'. -5'. slouží pro výpočet **kvalitativní korekce II** $\Delta \mathcal{G}_{RT(i)}^{kvalkorII}$, která slouží pro udržení tepelného obsahu v příváděcí větvi horkovodu do doby než začne působit kvantitativní část řízení a s ní i **kvalitativní korekce I** $\Delta Q(i)^{kvalkorI}$. Schéma řídicího algoritmu s výpočtem $\Delta \mathcal{G}_{RT(i)}^{kvalkorII}$ je uvedeno na obrázku 5.

Krok 1'.

Načtení skutečné teploty v přívodní $\Delta \mathcal{G}_{P,RT(i)}^s$ a zpětné $\mathcal{G}_{Z,RT(i)}^s$ větvi v reálném čase.

Krok 2'.

Na základě skutečné teploty v přívodní a zpětné větvi určíme skutečný teplotní spád v reálném čase podle rovnice:

$$\Delta \mathcal{G}_{RT(i)}^s = \mathcal{G}_{P,RT(i)}^s - \mathcal{G}_{Z,RT(i)}^s [K], \quad (25)$$

kde: $\Delta \mathcal{G}_{RT(i)}^s [^{\circ}\text{C}]$ - skutečný teplotní spád v čase RT u spotřebitele,

$\mathcal{G}_{P,RT(i)}^s [^{\circ}\text{C}]$ - teplota v přívodní větvi horkovodu v čase RT ,

$\mathcal{G}_{Z,RT(i)}^s [^{\circ}\text{C}]$ - teplota ve vratné větvi horkovodu v čase RT .

Krok 3'.

V tomto kroku je vypočten skutečný výkon v reálném čase RT podle vzorce (20)

$$P_{T,RT(i)}^s = M_{v,RT(i)}^s \cdot c \cdot \Delta \mathcal{G}_{RT(i)}^s [W], \quad (26)$$

kde: $P_{T,RT(i)}^s [W]$ - skutečný tepelný výkon v čase RT ,

$M_{v,RT(i)}^s [kg \cdot s^{-1}]$ - skutečný hmotnostní tok vody v čase RT ,

$c [J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$ - měrná tepelná kapacita vody,

$\Delta \mathcal{G}_{T(i)}^s [^{\circ}\text{C}]$ - skutečný teplotní spád v čase RT u spotřebitele.

Krok 4'.

Zde je zjištěn rozdíl skutečného a předpokládaného výkonu opět v reálném čase.

$$\Delta P_{T,RT(i)}^{kvalkorII} = P_{T,RT(i)}^p - P_{T,RT(i)}^s [W], \quad (27)$$

kde: $P_{T,RT(i)}^p [W]$ - skutečný tepelný výkon v čase RT ,

$P_{T,RT(i)}^s [W]$ - předpokládaný tepelný výkon v čase RT ,

$\Delta P_{T,RT(i)}^{kvalkorII} [W]$ - diference předpokládaného a skutečně odebíraného výkonu v čase

RT . Krok 5'.

V tomto kroku je určena **kvalitativní korekce II** $\Delta \mathcal{G}_{RT(i)}^{kvalkorII}$, která slouží pro přibližné udržení tepelného obsahu v příváděcí větvi horkovodu a má vliv na řízení, do té doby, než začne působit kvantitativní část.

$$\Delta \mathcal{G}_{RT(i)}^{kvalkorII} = \frac{-\Delta P_{T,RT(i)}^{kvalkorII}}{c \cdot \Delta M_{v,RT(i)}} [^{\circ}\text{C}], \quad (28)$$

kde: $\Delta \mathcal{G}_{RT(i)}^{kvalkorII} [^{\circ}\text{C}]$ - kvalitativní korekce na teplotěnském výměníku,

$\Delta P_{T,RT(i)}^{kvalkorII} [W]$ - diference předpokládaného a skutečně odebíraného výkonu v čase

RT , $\Delta M_{v,RT(i)} [kg.s^{-1}]$ - hmotnostní tok vody v čase RT ,

$c [J.kg^{-1}.K^{-1}]$ - měrná tepelná kapacita vody.

Krok 6'.

Vztah (29) vznikl přidáním **kvalitativní korekce II** $\Delta \mathcal{G}_{RT(i)}^{kvalkorII}$ do vztahu (15).

$$u_{1(i)} \equiv \mathcal{G}_{p(i)} = \mathcal{G}_{z(i)} + \Delta \mathcal{G}_{T(i)}^p [^{\circ}C], \quad (29)$$

kde: $\Delta \mathcal{G}_{T(i)}^p [^{\circ}C]$ - předpokládaný tepelný spád v čase T ,

$\mathcal{G}_{z(i)} [^{\circ}C]$ - teplota ve zpětné větvi v čase T ,

$u_{1(i)} [-]$ - akční veličina kvalitativního řízení,

$\Delta \mathcal{G}_{RT(i)}^{kvalkorII} [^{\circ}C]$ - kvalitativní korekce na teplotěnském výměníku.[1]

5 PŘEDPOVĚD DDDT (DENNÍ DIAGRAM DODÁVKY TEPLA)

V minulosti vzniklo velké množství prací, které řeší predikci DDDT a její využití při řízení dodávky tepla či elektrické energie. Většina těchto prací je však založena na hromadném zpracování velkého množství dat. Tento postup se však vyznačuje jednou velkou nevýhodou, která vede ke zkreslení a tím k nepřesné předpovědi budoucího průběhu DDDT. Ta nevýhoda spočívá v neaktuálnosti zpracovávaných dat. Z tohoto důvodu je výhodné pro predikci DDDT použít metod předpovědi podle metodologie Box-Jenkinse. Tato metody pracuje jen s určitým počtem hodnot, které jsou každou vzorkovací periodu aktualizovány. Výše zmíněná metodologie byla poprvé publikována již v 60. letech a kompletně sepsána v roce 1976 v knize [12]. Americký autor G. Box a Angličan G. Jenkins (odtud název Box-Jenkinsova metoda) zde komplexně popsali analýzu časových řad, jejich predikci a využití při řízení.

Boxův-Jenkinsův přístup bere za základní prvek konstrukce modelu časové řady reziduální složku, která může být tvořena korelovanými (závislými) náhodnými veličinami. Tato metodologie tedy nejen může zpracovávat časové řady s navzájem závislými pozorováními, ale dokonce těžiště jejich postupů spočívá právě ve vyšetřování těchto závislostí neboli v tzv. korelační analýze. Uvedená dnes již klasická metody umožňuje modelovat i řady s trendovým nebo sezónním charakterem. Tyto řady úspěšně zvládá pomocí tzv. integrovaných modelů ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) a tzv. sezónních modelů, v nichž trendová nebo sezónní složka může být modelována stochasticky.

5.1 Metody výpočtu předpovědi DDDT

Jak již bylo dříve uvedeno, v Boxově-Jenkinsově metodologii lze modelovat pouze stacionární časové řady a obecný model Box-Jenkinse dokáže pracovat pouze s jednou periodou sezónnosti. Průběh naší konkrétní časové řady DDDT však obsahuje dvě periodicity. Jednak denní periodu, která je dána fluktuacemi odběru tepla během dne a týdenní perioda reprezentována poklesem odběru tepla v sobotu a neděli. Obecný model Box-Jenkinse nám však neumožňuje popis a tedy ani predikci průběhu DDDT, protože nelze současně vystihnout denní a týdenní periodu časové řady. Abychom vystihli obě periody sezónnosti je třeba navrhnout složitější postup. Proto byly použity dva možné přístupy k výpočtu předpovědi DDDT:

- metoda s dvojnásobnou filtrací,
- metoda superpozice modelů.

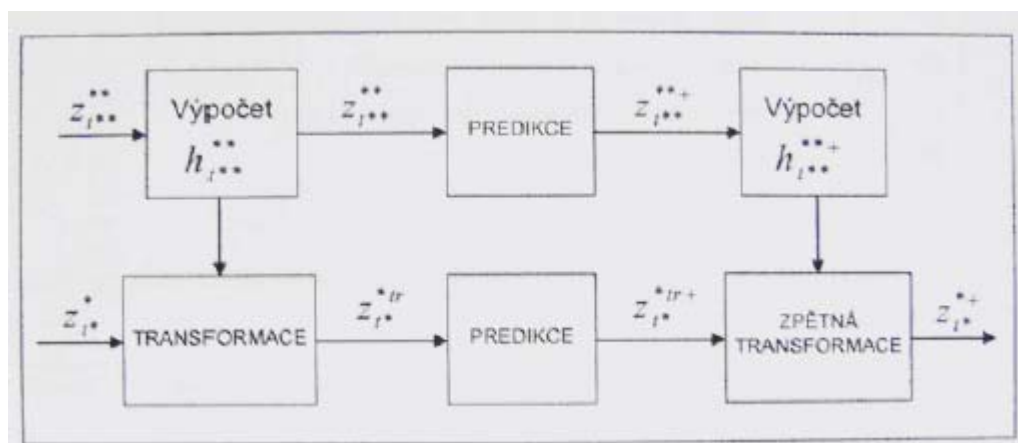
5.1.1 Metoda s dvojnásobnou filtrací

Při použití metody s dvojnásobnou filtrací je nutné dodržet při výpočtu predikce DDDT tento obecný postup:

- provést sezónní diferencování časové řady z důvodu odstranění týdenní periodicity časové řady,
- takto filtrovanou časovou řadu podle bodu a) lze pak vyjádřit obecným modelem Box-Jenkinse a provést výpočet predikce,
- je nutné provést zpětnou filtraci, která je inverzní k bodu a), protože jsme prováděli odstranění týdenní periodicity.

5.1.2 Metoda superpozice modelů

Pro odstranění pravidelných kalendářních vlivů (soboty, neděle), lze použít druhou metodu, tzv. metodu superpozice modelů. Tato metoda byla publikována v práci [14]. Při této metodě se využívá dvou modelů ve tvaru , které rozlišíme symboly * a **. Časová řada označená *, je řada hodnot odběrů tepla pro danou vzorkovací periodu (např. 1 hodina, 30 minut, 15 minut, 10 minut) a časová řada označená **, je sumovaná řada hodnot odběrů tepla za 1 den (zvolená perioda vzorkování 24 hodin). Postup výpočtu predikce metodou superpozice modelů se provádí způsobem, který je detailně a názorně zobrazen na obrázku 8.



Obr. 8 Postup výpočtu predikce metodou superpozice modelů

5.2 Zahrnutí vlivu venkovní teploty na průběh DDDT

Oba dva popsané přístupy řešení předpovědi DDDT tj. metoda dvojí filtrace a metoda superpozice modelů umožňují současně vystihnout denní a týdenní periodu časové řady DDDT. Tyto metody umožňují dále modelovat také trend který je dán plynulými přechody mezi ročními obdobími tj. poklesem respektive růstem venkovní teploty v průběhu roku. Použité metody předpovědi však nezahrnují vliv náhlých změn meteorologických veličin. Jedná se o situaci, kdy se objeví náhlé výkyvy počasí. V takovém případě je nutné do výpočtu předpovědi zahrnout vliv meteorologických veličin.

Práce, které vznikly na toto téma, např. [13], uvádí, že největší vliv na průběh DDDT, co se týká meteorologie, má velikost venkovní teploty. Této skutečnosti je využito i v této práci a do výpočtu předpovědi je možno zahrnout i velikost venkovní teploty. Souhrnně lze konstatovat, že předpověď časových řad a zejména pak předpověď energetických časových řad má velký význam při řízení technologického procesu a to jak z pohledu ekonomických úspor tak i z pohledu ekologie provozu. Pro řešení problematiky předpovědi časových řad s aplikacemi v energetice lze použít velké množství různých metod. [2], [3]

6 METODY NASTAVENÍ PID A PSD REGULÁTORŮ

6.1 Metoda inverze dynamiky

Výhoda této metody [15] spočívá ve snadném a rychlém seřízení standardních typů analogových a číslicových regulátorů pro základní druhy regulovaných soustav. Soustavy mohou být bez dopravního zpoždění nebo s dopravním zpožděním.

Typ regulátoru je doporučen z hlediska vlastností regulované soustavy a požadavku na nulovou regulační odchylku způsobenou skokovou změnou polohy žádané veličiny w , resp. poruchy v působící na výstupu regulované soustavy.

Budeme předpokládat, že regulované soustavy mají některý z následujících náhradních

L-přenosů:

$$G_s(s) = \frac{k_1}{s} e^{-T_d s}, \quad (30)$$

$$G_s(s) = \frac{k_1}{T_1 s + 1} e^{-T_d s}, \quad (31)$$

$$G_s(s) = \frac{k_1}{s(T_1 s + 1)} e^{-T_d s}, \quad (32)$$

$$G_s(s) = \frac{k_1}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} e^{-T_d s}, \quad (33)$$

$$G_s(s) = \frac{k_1}{T_0^2 s^2 + 2\xi_0 T_0 s + 1} e^{-T_d s}, \quad (34)$$

$$0,5 < \xi_0 \leq 1$$

$$T_1 \geq T_2 > 0$$

$$T_d \geq 0$$

kde: k_1 - koeficient přenosu (rozměr = podíl rozměrů výstupní a vstupní veličiny, u integračních regulovaných soustav je nutno tento rozměr vynásobit čas^{-1}),

$$\omega_0 = \frac{1}{T_0} \text{ - netlumený úhlový kmitočet (čas}^{-1}\text{).}$$

Pokud regulovaná soustava nemá ani jeden z výše uvedených tvarů, je nutné ji aproximovat.

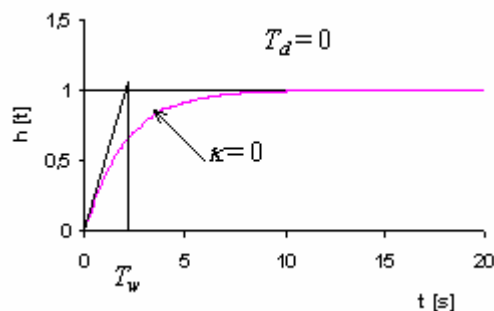
Dále budeme předpokládat, že budou použity pouze standardní typy analogových a číslicových regulátorů. Vycházíme z jejich značné univerzality a velkým rozšířením v technické praxi. Potom jsou doporučené regulátory konvenčního typu a trvalá regulační odchylka $e_w(\infty)$ způsobená skokovou změnou žádané veličiny w je nulová. Rovněž i trvalá regulační odchylka $e_v(\infty)$ způsobená skokovou změnou poruchy v je nulová za předpokladu, že porucha působí na výstupu regulované soustavy.

U regulovaných soustav s dopravním zpožděním se při seřízení regulátoru vychází z požadovaného relativního překmitu k . Při mezním aperiodickém průběhu je $k = 0$ a je minimalizována lineární regulační plocha.

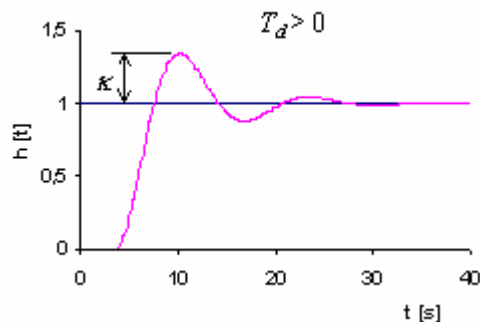
Nejprve je třeba vyjádřit vlastnosti regulované soustavy některým ze základních tvarů L-přenosů.

Pak na základě tabulky 1 určíme pro danou regulovanou soustavu typ regulátoru a optimální hodnoty jeho stavitelných parametrů. Je zapotřebí uvažovat dva případy:

$$T_d > 0 \quad \text{a} \quad T_d = 0.$$



Graf 1 Přechodová charakteristika



Graf 2 Přechodová charakteristika

Tabulka 1 Nastavení regulátorů

	Regulovaná soustava	Regulátor analogový $T=0$, číslicový $T>0$				
		Typ	k_r^*		T_I^*	T_D^*
			$T_d=0$	$T_d>0$		
1	$G_S(s) = \frac{k_1}{s} e^{-T_d s}$	P	$\frac{2}{k_1(2T_w + T)}$	$\frac{a}{k_1}$	-	-
2	$G_S(s) = \frac{k_1}{T_1 s + 1} e^{-T_d s}$	PI	$\frac{2T_1^*}{k_1(2T_w + T)}$	$\frac{aT_1^*}{k_1}$	$T_1 - \frac{T}{2}$	-
3	$G_S(s) = \frac{k_1}{s(T_1 s + 1)} e^{-T_d s}$	PD	$\frac{2}{k_1(2T_w + T)}$	$\frac{a}{k_1}$	-	$T_1 - \frac{T}{2}$
4	$G_S(s) = \frac{k_1}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} e^{-T_d s}$ $T_1 \geq T_2$	PID	$\frac{2T_1^*}{k_1(2T_w + T)}$	$\frac{aT_1^*}{k_1}$	$T_1 + T_2 - T$	$\frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2} - \frac{T}{4}$
5	$G_S(s) = \frac{k_1}{T_0^2 s^2 + 2\xi_0 T_0 s + 1} e^{-T_d s}$ $0,5 \leq \xi_0 \leq 1$	PID	$\frac{2T_1^*}{k_1(2T_w + T)}$	$\frac{aT_1^*}{k_1}$	$2\xi_0 T_0 - T$	$\frac{T_0}{2\xi_0} - \frac{T}{4}$

 Tabulka 2 Koeficienty pro překmit k

k	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
α	1,282	0,984	0,884	0,832	0,763	0,697	0,669	0,640	0,618	0,599	0,577
β	2,718	1,944	1,720	1,561	1,437	1,337	1,248	1,172	1,104	1,045	0,992

Pro $T > 0$ platí pro číslicové regulátory, pro $T = 0$ platí pro analogové regulátory.

V případě, kdy dopravní zpoždění $T_d > 0$, se nejdříve na základě požadovaného relativního překmitu κ ($0 \leq \kappa \leq 0,5$) u přechodové charakteristiky $h_w(t)$ uzavřeného regulačního obvodu (graf 2) a (tabulka 2) určí koeficient

$$\alpha = \frac{1}{\alpha T + \beta T_d} \quad (35)$$

Pak teprve z tabulky 1 určíme optimální hodnoty stavitelných parametrů doporučeného regulátoru. Pokud dopravní zpoždění T_d je velmi malé, hodnotu určeného koeficientu a je třeba vhodně snížit s ohledem na omezení akční veličiny a maximální nastavitelnou hodnotou zesílení regulátoru k_{Rmax} .

V případě $T_d = 0$ určíme hodnoty stavitelných parametrů přímo z tabulky 1 pro daný typ regulované soustavy. Požadovaný průběh přechodové charakteristiky $k_w(t)$ uzavřeného regulačního obvodu se v tomto případě předpokládá podle grafu 1. Časová konstanta T_w musí být zvolena s ohledem na omezení akční veličiny a maximální nastavitelnou hodnotou regulátoru k_{Rmax} , u regulačního obvodu s číslicovým regulátorem musí platit $T_w > 0,3T$. [6]

6.1.1 Volba vzorkovací periody

Vzorkovací perioda T je stavitelný parametr regulátoru v diskretních algoritmech regulátorů. Pro přibližné určení vzorkovací periody lze použít některého z uvedených vztahů:

$$T \approx \frac{T_1}{10}, \quad (36)$$

$$T \approx \left(\frac{1}{6} \div \frac{1}{15} \right) T_{95}, \quad (37)$$

$$T \approx \left(\frac{1}{4} \div \frac{1}{8} T_d \right), \quad (38)$$

$$T \approx \left(\frac{1}{2} \div \frac{1}{4} \right) \sum_i \tau_i, \quad (39)$$

kde: T_1 – největší časová konstanta regulované soustavy (náhradní časová konstanta),

T_{95} – čas, kdy přechodová charakteristika regulované soustavy dosáhne 95 % své ustálené hodnoty na přechodové charakteristice regulované soustavy,

$\sum \tau_i$ - součet časových konstant regulované soustavy,

T_d – u regulovaných soustav s velkým dopravním zpožděním se volí T v závislosti na něm.

Prakticky za vhodnou hodnotu vzorkovací periody se považuje taková hodnota, při které nedojde ke zhoršení kvality regulace o více než 15 % než při použití analogického spojitého regulátoru. Při velmi malé vzorkovací periodě dochází ke zvyšování nároků na rychlost číslicového regulátoru, převodníků, měřicího a akčního členu.

Je třeba zdůraznit, že se zvětšováním vzorkovací periody T dochází ke zvyšování vlivu sumační složky a snižování vlivu diferenční složky číslicového regulátoru. Zvětšování vzorkovací periody destabilizuje regulační pochod, neboť dochází ke ztrátě informace v regulované veličině mezi okamžiky vzorkování. [5]

6.2 Metoda nastavení z přechodové charakteristiky

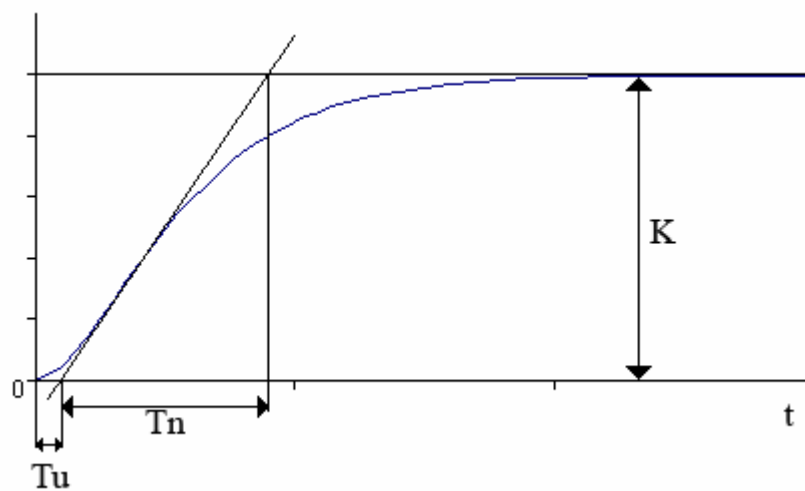
Tato metoda patří k základním metodám nastavení PID regulátoru, někdy je také nazývána revidovaná Ziegler-Nicholsova metoda. Při této nastavování PID regulátoru touto metodou, postupujeme následovně: [10]

- a) nejprve naměříme či spočítáme a vykreslíme přechodovou charakteristiku,
- b) z přechodové charakteristiky odečteme časy T_u (doba průtahu), T_n (doba náběhu) (tyto hodnoty získáme konstrukcí tečny v inflexním bodě přechodové charakteristiky, grafické znázornění hodnot je na obrázku 8) a finální hodnotu – zesílení soustavy K ,
- c) po odečtení hodnot T_u a T_n vypočítáme γ , pro které platí $\gamma = \frac{T_n}{T_u}$,
- d) po vypočtení hodnoty γ , použijme pro požadovaný regulátor tabulku 3 a vypočteme hodnoty k_r , T_I a T_D ,
- e) přenos regulátoru je pak vyjádřen

$$G_R = k_r \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) = r_0 + \frac{r_{-1}}{s} + r_1 s. \quad (40)$$

Tabulka 3 Nastavení PID regulátoru

	k_r	T_I	T_D
P	$\gamma \frac{1}{K}$	-	-
PI	$0,9\gamma \frac{1}{K}$	$3,5 T_u$	-
PID	$1,25\gamma \frac{1}{K}$	$2 T_u$	$0,5 T_u$



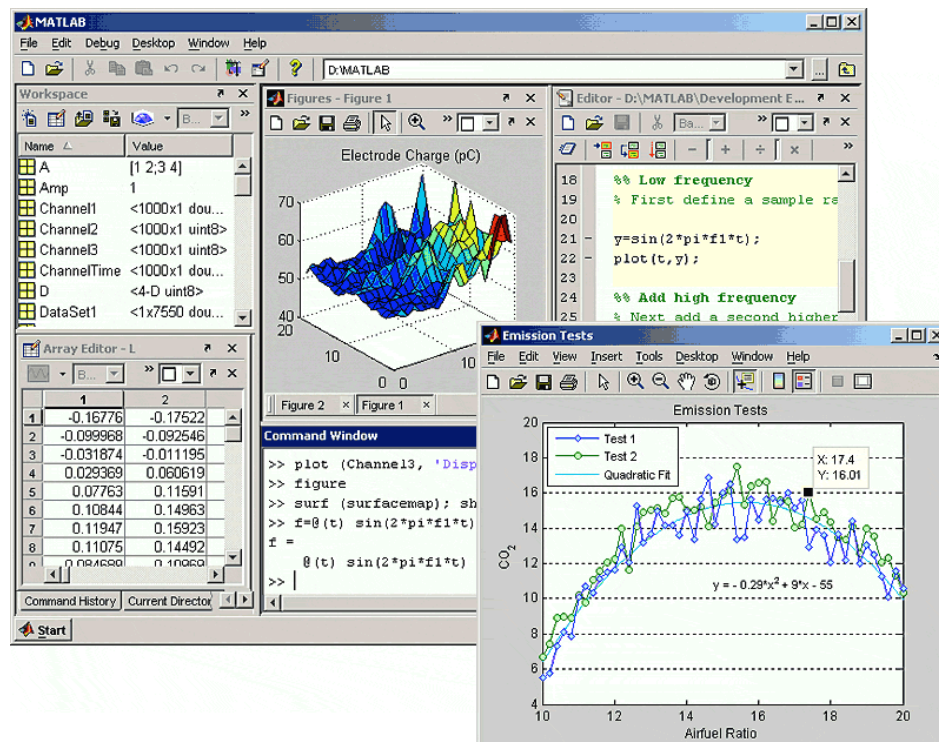
Graf 3 Přebodová charakteristika

7 PROSTŘEDÍ MATLAB

MATLAB[®] je integrované prostředí pro vědeckotechnické výpočty, modelování, návrhy algoritmů, simulace, analýzu a prezentaci dat, měření a zpracování signálů, návrhy řídicích a komunikačních systémů. MATLAB je nástroj jak pro pohodlnou interaktivní práci, tak pro vývoj širokého spektra aplikací.

Výpočetní systém MATLAB se během uplynulých let stal celosvětovým standardem v oblasti technických výpočtů a simulací nejen ve sféře vědy, výzkumu a průmyslu, ale i v oblasti vzdělávání. MATLAB 6 je považován za přelom nejen z hlediska rozsahu, integrace a kvality produktu, ale především z hlediska vztahu k uživateli a jeho pohodlí při práci. Společnost The MathWorks investovala do aktualizace a vývoje nových vlastností produktů více než 600 tisíc vývojových hodin, což je v přepočtu na jednoho programátora přes 250 let práce.

MATLAB poskytuje svým uživatelům nejen mocné grafické a výpočetní nástroje, ale i rozsáhlé knihovny funkcí spolu s výkonným programovacím jazykem čtvrté generace. Knihovny jsou svým rozsahem využitelné prakticky ve všech oblastech lidské činnosti. Díky své architektuře je MATLAB určen zejména těm, kteří potřebují řešit početně náročné úlohy a přitom nechtějí nebo nemají čas zkoumat matematickou podstatu problémů. Více než půl milionu uživatelů po celém světě využívá možnosti jazyka MATLABu, který je mnohem jednodušší než například Fortran nebo C a který skýtá obrovský potenciál produktivity a tvořivosti. Za nejsilnější stránku MATLABu je považováno mimořádně rychlé výpočetní jádro s optimálními algoritmy, které jsou prověřeny léty provozu na špičkových pracovištích po celém světě. MATLAB byl implementován na všech významných platformách, od osobních počítačů s operačními systémy MS-Windows a Linux až po UNIXové pracovní stanice. [8]

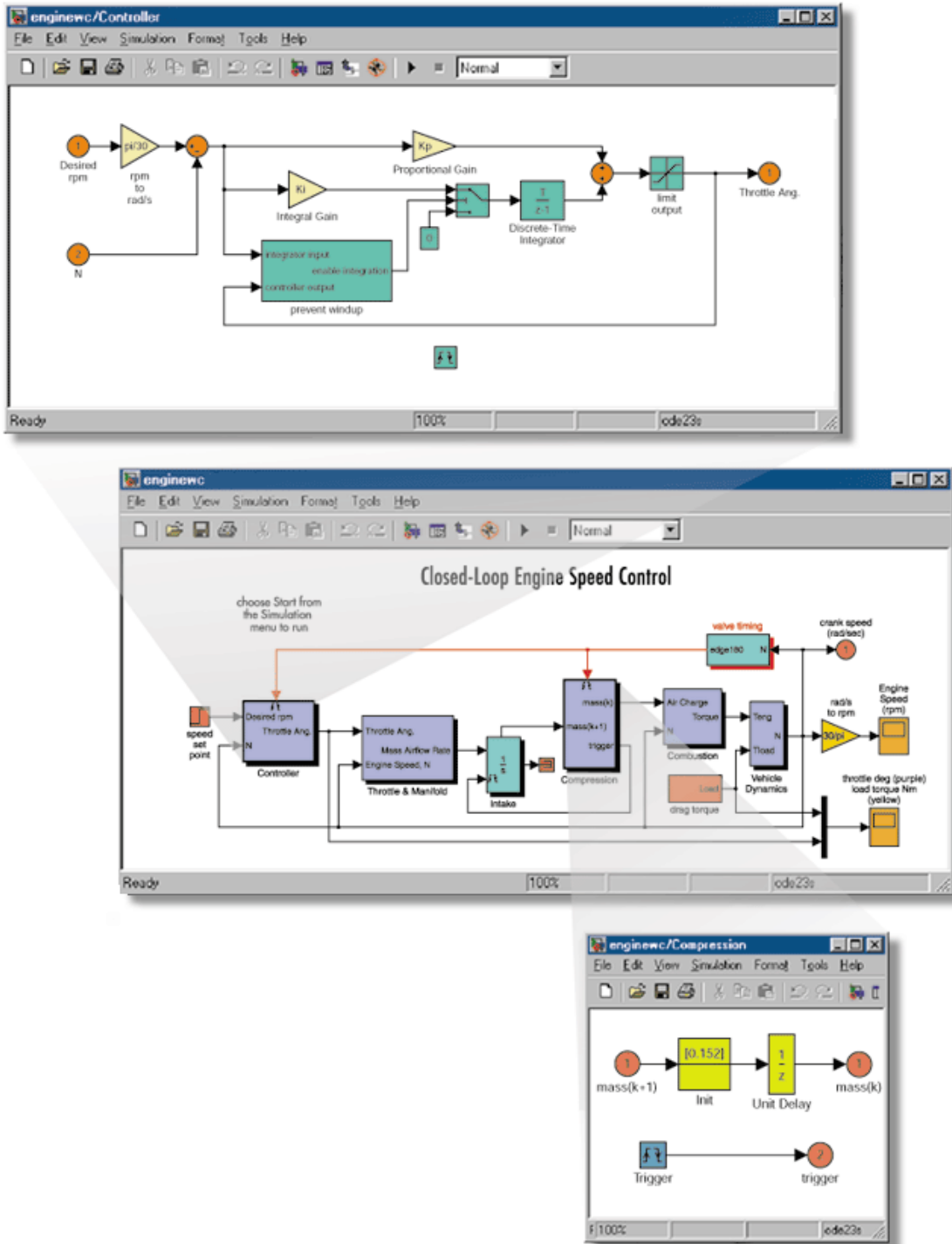


Obr. 9 MATLAB Desktop - intuitivní rozhraní konfigurovatelné dle požadavků uživatele

Simulink[®] je program pro simulaci a modelování dynamických systémů, který využívá algoritmy MATLABu pro numerické řešení nelineárních diferenciálních rovnic. Poskytuje uživateli možnost rychle a snadno vytvářet modely dynamických soustav ve formě blokových schémat a rovnic.

Nový přístup k řešení diferenciálních rovnic dovoluje simulovat i rozsáhlé systémy rychle, přesně a s efektivním využitím paměti počítače. Pomocí Simulinku a jeho grafického editoru lze vytvářet modely lineárních, nelineárních, v čase diskretních nebo spojitých systémů pouhým přesouváním funkčních bloků myší. Simulink nově umožňuje spouštět určité části simulačního schéma na základě výsledku logické podmínky. Tyto spouštěné a povolované subsystemy umožňují použití programu v náročných simulačních experimentech. Samozřejmostí je otevřená architektura, která dovoluje uživateli vytvářet si vlastní funkční bloky a rozšiřovat již tak bohatou knihovnu Simulinku. Hierarchická struktura modelů umožňuje koncipovat i velmi složité systémy do přehledné soustavy subsystemů prakticky bez omezení počtu bloků. Simulink, stejně jako MATLAB, dovoluje připojovat funkce napsané uživateli v jazyce C. Vynikající grafické možnosti Simulinku je možné přímo využít k tvorbě dokumentace. Mezi neocenitelné vlastnosti Simulinku patří

nezávislost uživatelského rozhraní na počítačové platformě. Přenositelnost modelů a schémat mezi různými typy počítačů umožňuje vytvářet rozsáhlé modely, které vyžadují spolupráci většího kolektivu řešitelů na různých úrovních. [9]



Obr. 10 SIMULINK - model spalovacího motoru

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 POPIS PROGRAMU

Vytvořený program je určen k simulaci kvalitativně-kvantitativního algoritmu řízení horkovodu. Program využívá vstupních dat dodaných z teplárny a predikce denní dodávky tepla (DDDT). Ovládány jsou 2 veličiny – hmotnostní tok a teplota v přívodní větvi.

8.1 Menu programu

Soubor

- Otevřít datový soubor – otevře se okno pro výběr souboru se vstupními daty.
- Nápověda – zobrazí se jednoduchá nápověda k programu.

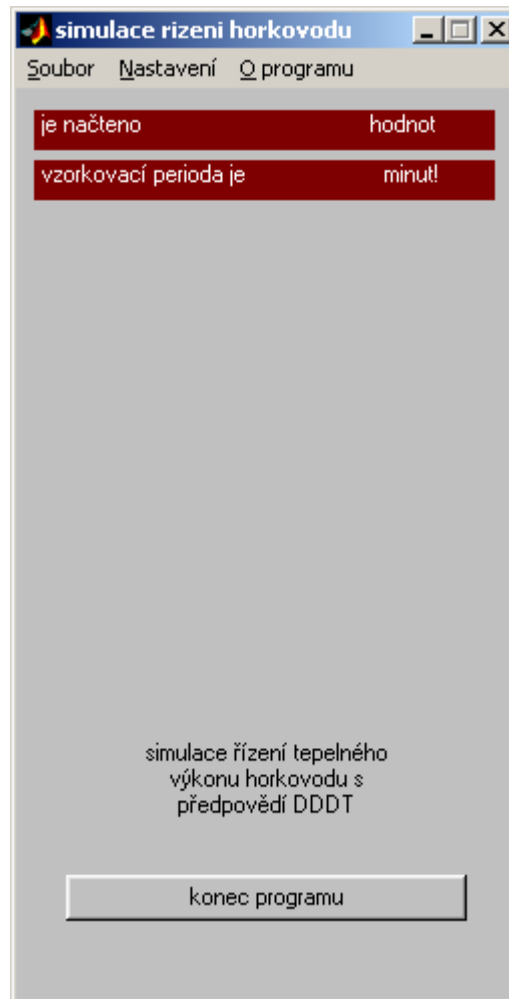
Nastavení

- Historická oblast – zvolí se počátek historické oblasti.
- Vliv teploty – zvolení zahrnutí vlivu venkovní teploty na předpověď DDDT.

O programu

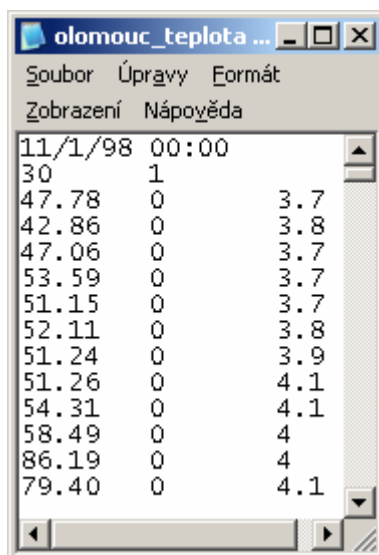
8.2 Práce s programem

Pro spuštění programu musí být spuštěno programové prostředí MATLAB. Poté musí být vybráno tlačítko Otevřít a vlastní program se otevře kliknutím na soubor *start.m*. Po spuštění tohoto souboru se objeví hlavní dialogové okno (obrázek 11).



Obr. 11 Hlavní dialogové okno programu

Aby se mohlo s programem pracovat, musí být nejdříve načtena nějaká vstupní data. V menu programu se nastaví historická oblast dat – zvolí se položka Nastavení → Historická oblast. Poté se zvolí položka Soubor → Otevřít datový soubor a vybere se soubor obsahující požadovaná vstupní data. Na obrázku 12 je zobrazena ukázka vstupního souboru. První řádek souboru reprezentuje datum první datové hodnoty, druhý řádek obsahuje dvě položky. První položka představuje vzorkovací periodu získaných dat. Druhá položka informuje, jestli jsou v souboru obsažena data s hodnotami venkovní teploty. Dále následuje výpis jednotlivých datových hodnot v pořadí odběr tepla, jestli se jedná o svátek (1) či nikoliv a hodnota venkovní teploty. [3]

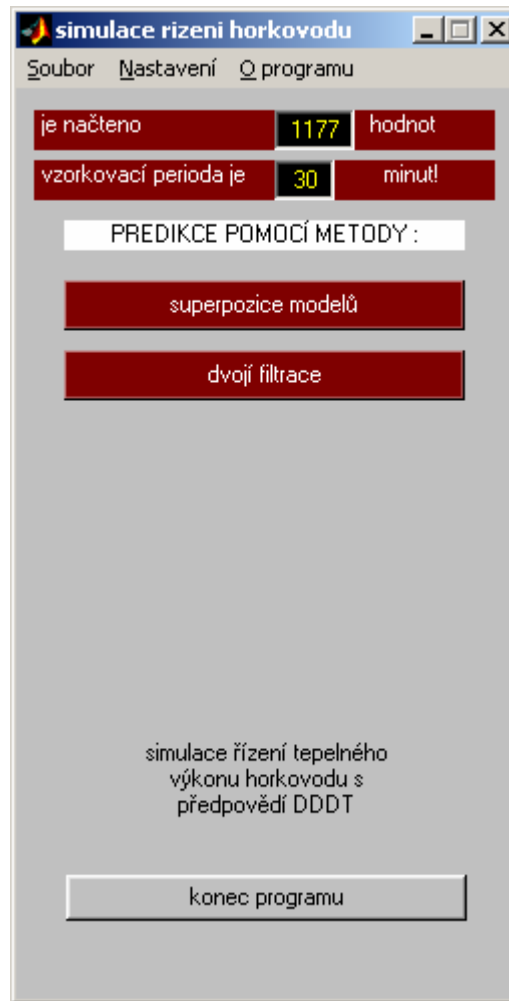


Date/Time	Value 1	Value 2
11/1/98 00:00	30	1
	47.78	0
	42.86	0
	47.06	0
	53.59	0
	51.15	0
	52.11	0
	51.24	0
	51.26	0
	54.31	0
	58.49	0
	86.19	0
	79.40	0
		3.7
		3.8
		3.7
		3.7
		3.7
		3.8
		3.9
		4.1
		4.1
		4
		4
		4.1

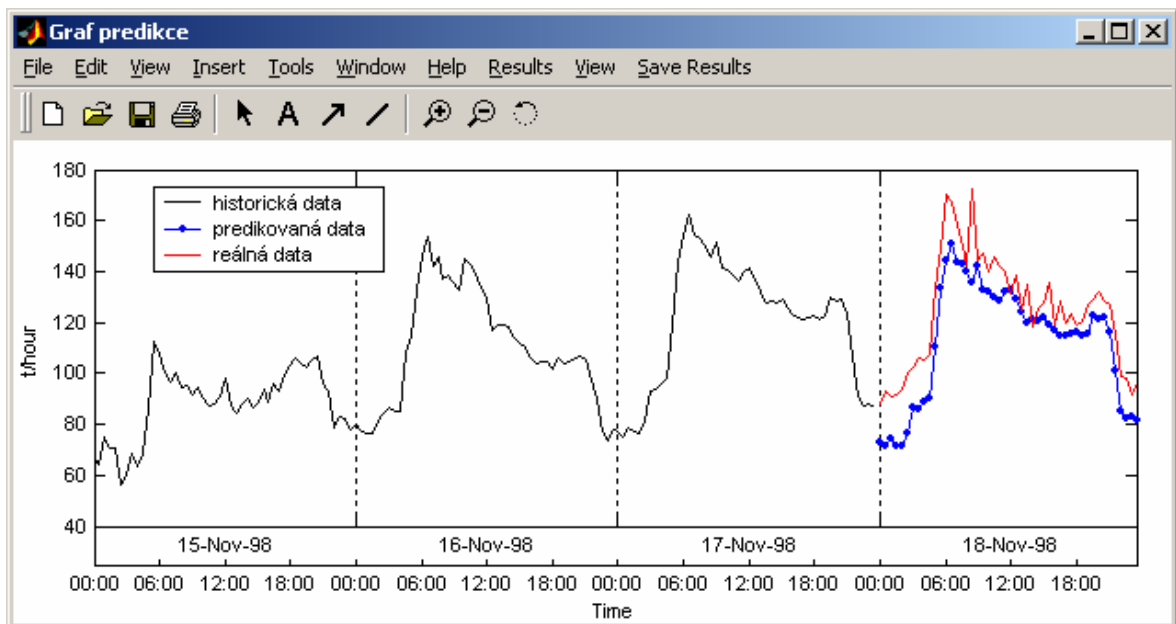
Obr. 12 Vstupní data

DDDT

Po načtení zadaných dat program vypíše počet hodnot a zvolenou vzorkovací periodu. Zpřístupní se také nabídka pro **výpočet DDDT** (obrázek 13). Na výběr je predikce pomocí metody superpozice modelů nebo pomocí metody dvojí filtrace. Zvolená metoda se potvrdí kliknutím na tlačítko s názvem dané predikce. V tu chvíli začne probíhat vlastní výpočet predikovaných dat, který trvá několik sekund. Po výpočtu se vykreslí graf, ve kterém jsou vykreslena historická data pro tři dny a predikovaná data a skutečná data pro 24 hodin (graf 4).



Obr. 13 Dialogové okno programu s výběrem metody predikce



Graf 4 Historická data a předpověď + skutečná data

Simulace

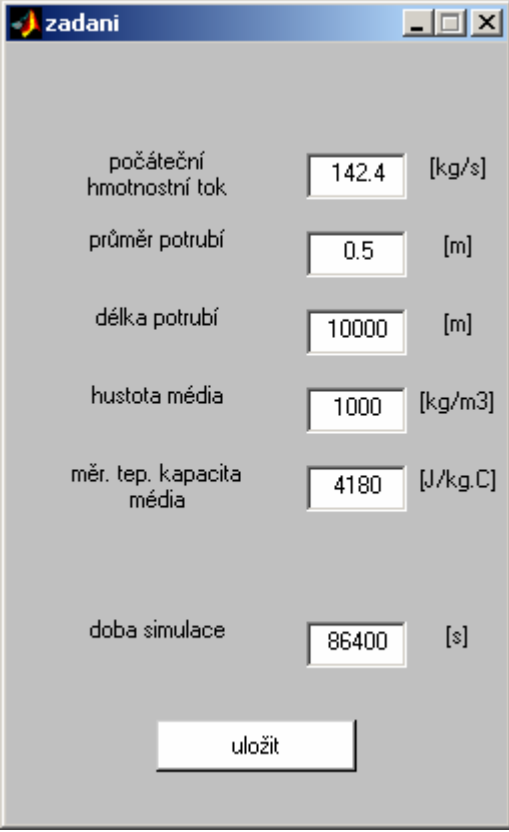
Po výpočtu DDDT je zpřístupněna další část programu týkající se simulace (obrázek 14).



Obr. 14 Dialogové okno programu s výběrem nastavení simulace

Tlačítkem **zadání parametrů** pro simulace je vyvoláno dialogové okno, ve kterém se zadávají vstupní parametry pro simulaci (obrázek 15).

Tlačítkem **simulační schéma** se vyvolá okno se simulačním schématem programu (kapitola 8.3.1).



The screenshot shows a window titled "zadani" with a grey background. It contains several input fields for simulation parameters, each with a label, a text box, and a unit. At the bottom, there is a button labeled "uložit".

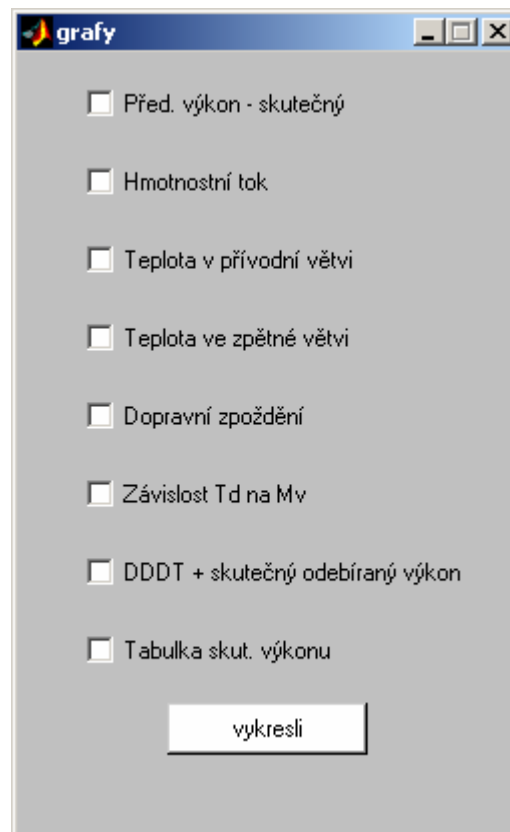
Parameter	Value	Unit
počáteční hmotnostní tok	142.4	[kg/s]
průměr potrubí	0.5	[m]
délka potrubí	10000	[m]
hustota média	1000	[kg/m ³]
měr. tep. kapacita média	4180	[J/kg.C]
doba simulace	86400	[s]

uložit

Obr. 15 Nastavení parametrů simulace

Tlačítkem **vykreslení grafů** je vyvoláno dialogové okno s nabídkou grafů (obrázek 16), které mohou být vykresleny:

- výkon předpokládaný – skutečný,
- hmotnostní tok,
- teplota v přívodní větvi,
- teplota ve zpětné větvi,
- dopravní zpoždění,
- závislost dopravního zpoždění na hmotnostním toku,
- DDDT a skutečný odebíraný výkon,
- také může být zobrazena tabulka skutečného výkonu.

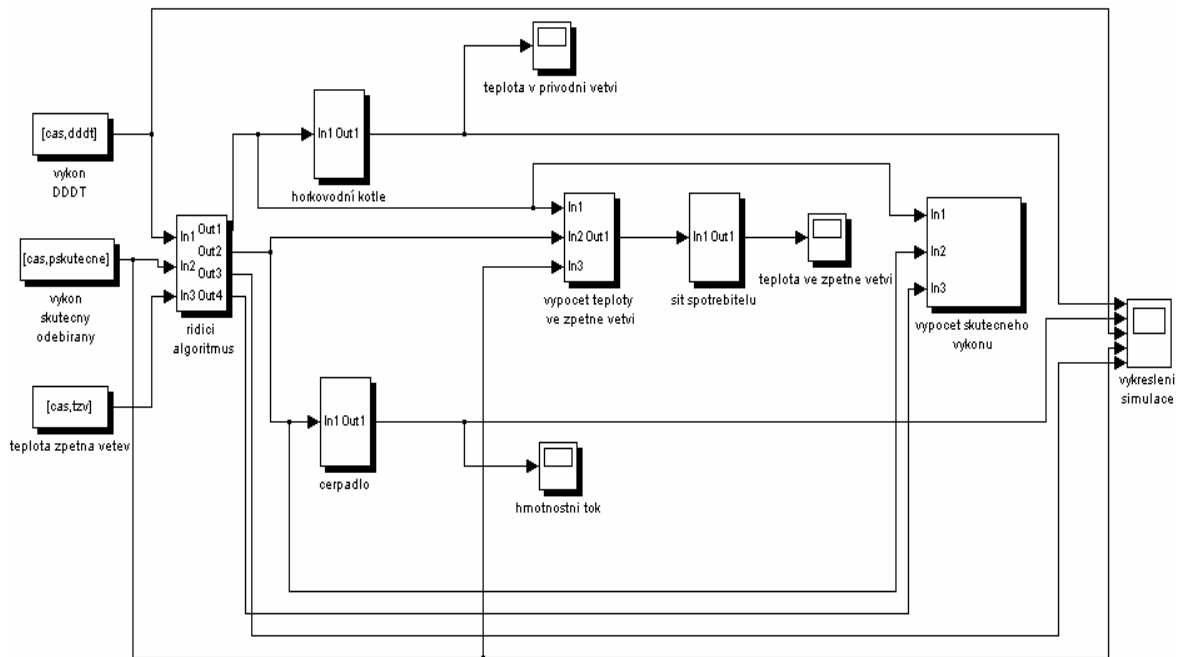


Obr. 16 Nabídka vykreslení grafů

8.3 Simulační schéma

8.3.1 Hlavní simulační schéma

Celé hlavní simulační schéma odpovídá algoritmu kvalitativně-quantitativního řízení dodávky tepla horkovodem (obrázek 3). V následujících kapitolách jsou popsány jednotlivé bloky (části) tohoto hlavního simulačního schématu.



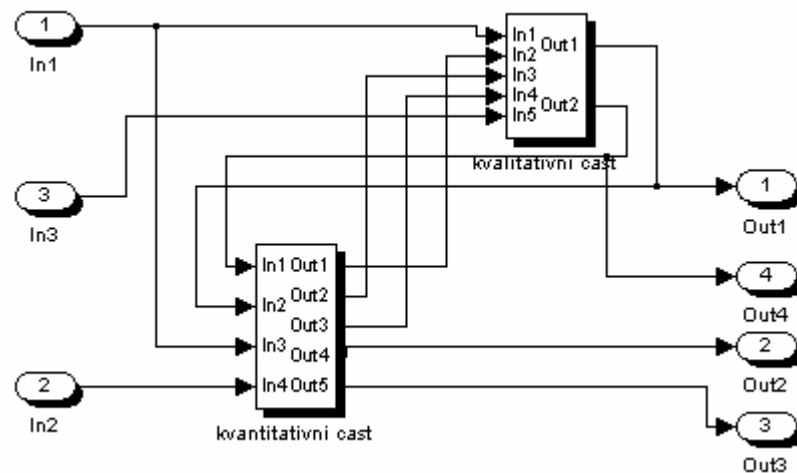
Obr. 17 Hlavní simulační schéma

8.3.2 Blok „řidící algoritmus“

Vstupem do tohoto bloku jsou 3 časové řady:

- předpověď denního diagramu dodávky tepla (DDDT),
- skutečný odebíraný výkon,
- teplota ve zpětné větvi.

Tento blok obsahuje celý algoritmus kvalitativně-quantitativního způsobu řízení, který je detailně popsán v kapitole 4 a principiálně popsán na vývojovém diagramu (obrázek 5).



Obr. 18 Blok řídicí algoritmus

8.3.3 Blok „horkovodní kotle“

Tento blok představuje horkovodní kotle, které slouží jako zdroj dodávaného tepleného výkonu do teplárenské sítě. Tyto kotle jsou charakterizovány soustavou $G_s(s)$ s přenosem se setrvačností 3. řádu. V tomto bloku je možné nastavit, zda tato soustavu bude řízena analogovým či spojitým regulátorem.

Přenos soustavy:

$$G_s(s) = \frac{1}{100s+1} * \frac{1}{100s+1} * \frac{1}{100s+1}. \quad (41)$$

Parametry PID regulátoru byly spočítány pomocí metody inverze dynamiky (kapitola 6.1) a nastavení z přechodové charakteristiky (kapitola 6.2). Přenosy regulátorů pak mají tvar:

- nastavení pomocí MID

$$G_R(s) = 1 + \frac{0.0033}{s} + 66.66s, \quad (42)$$

- nastavení z PCh

$$G_R(s) = 6.5323 + \frac{0.04573}{s} + 233.2967s. \quad (43)$$

Pro výpočet parametrů PID regulátoru pomocí nastavení z přechodové charakteristiky byl pro horkovodní kotel přenos soustavy:

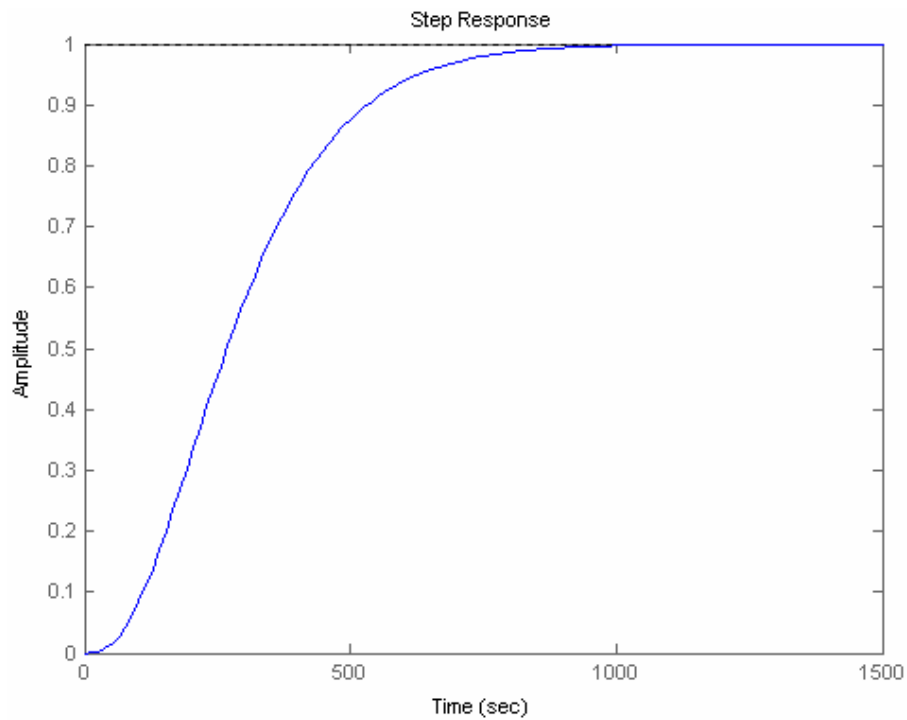
$$G_s(s) = \frac{1}{200s+1} * \frac{1}{100s+1}. \quad (44)$$

Přenos PSD regulátoru byl spočítán pomocí metody inverze dynamiky (kapitola 6.1).

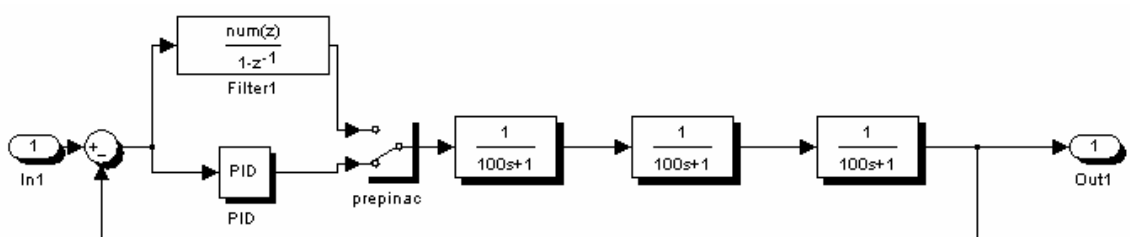
Přenos:

$$G_R(s) = \frac{0.59377 - 0.40487z^{-1} + 0.059829z^{-2}}{1 - z^{-1}}, \quad (45)$$

vzorkovací perioda $T_v = 153$ s byla určena dle vztahu (37).



Graf 5 Přečhodová charakteristika horkovodního kotle



Obr. 19 Blok horkovodní kotle

8.3.4 Blok „čerpadlo“

Tento blok nám představuje oběhové čerpadlo a měnič. V praxi nám čerpadlo a měnič otáček zajišťují požadovanou rychlost proudění (hmotnostní tok) v teplotní síti. Čerpadlo a měnič otáček jsou soustavou $G_S(s)$ s přenosem se setrvačností 2. řádu, oproti bloku horkovodní kotle má tato soustava krátké časové konstanty.

Přenos soustavy:

$$G(s) = \frac{1}{0.1s+1} * \frac{1}{2.55s+1} \quad (46)$$

Parametry PID regulátoru byly spočítány pomocí metody inverze dynamiky (kapitola 6.1).

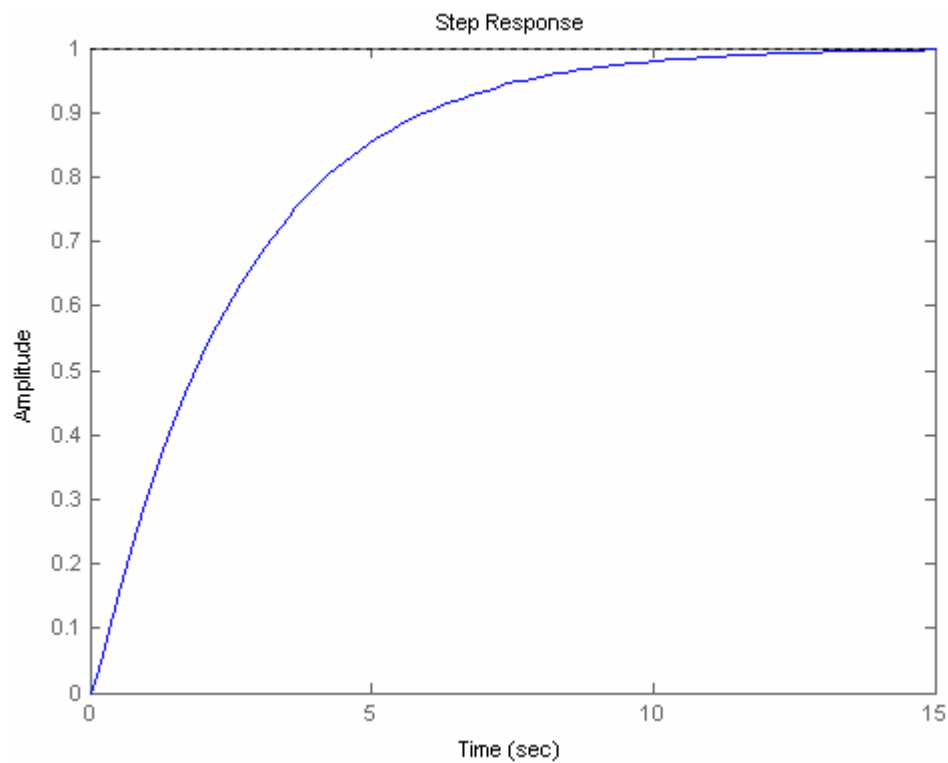
Přenos regulátoru je:

$$G_R(s) = 1 + \frac{0.377}{s} + 0.096s. \quad (47)$$

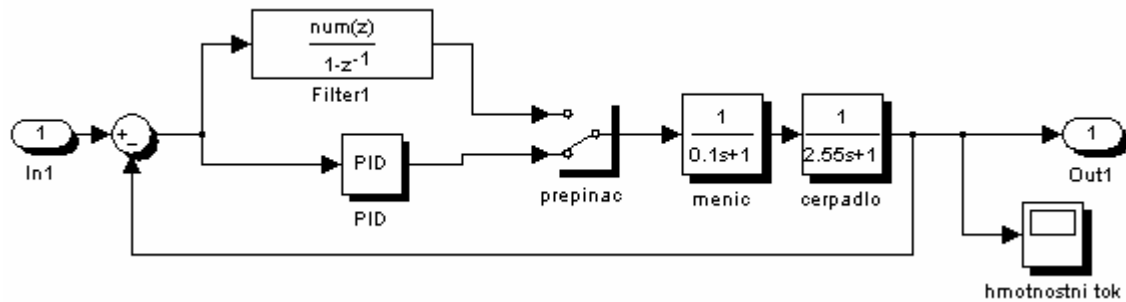
Přenos PSD regulátoru byl spočítán také pomocí metody inverze dynamiky. Přenos:

$$G_R(s) = \frac{0.68190 - 0.46072z^{-1} + 0.00002z^{-2}}{1 - z^{-1}}, \quad (48)$$

vzorkovací perioda $T_v = 1$ s byla určena dle vztahu (37).



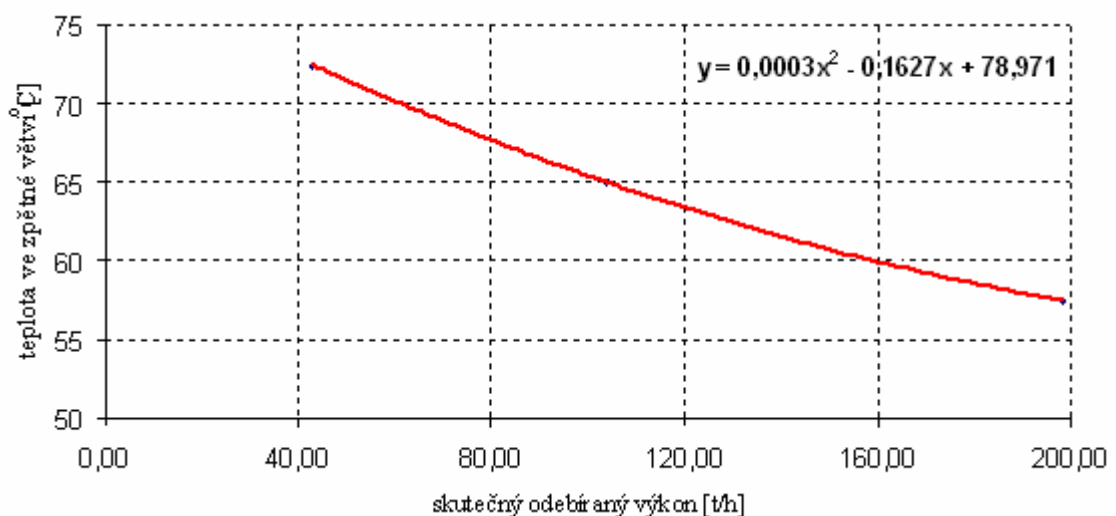
Graf 6 Přejchodová charakteristika čerpadla a měniče otáček



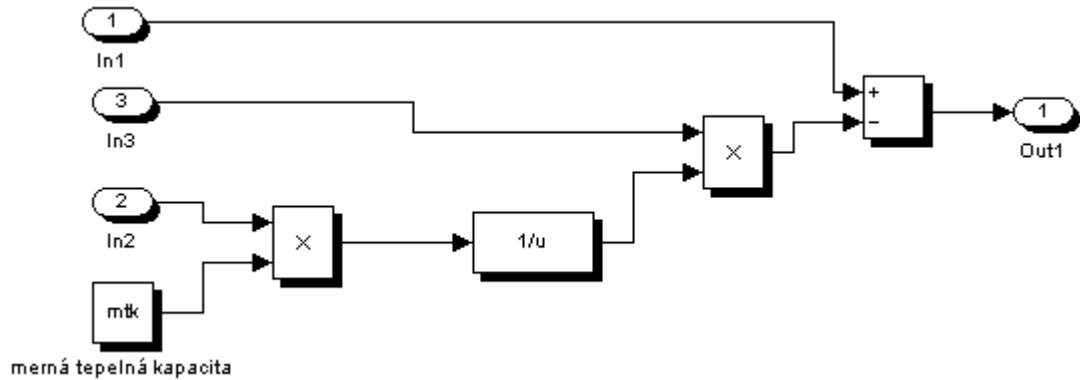
Obr. 20 Blok čerpadla a měniče otáček

8.3.5 Blok „výpočet teploty ve zpětné větvi“

V tomto bloku je realizován výpočet teploty ve zpětné větvi. V praxi tuto hodnotu známe z tepelného čidla na vstupu do horkovodního kotle (případně výměníku). Vzhledem k tomu, že v našem případě hodnoty ze snímače nejsou k dispozici, tak na základě znalosti hmotnostního toku M_v , skutečného tepelného výkonu P_T^s , teploty v přívodní větvi ϑ_z a měrná tepelné kapacity c , jsem schopni tuto hodnotu vypočítat. Nejdříve je ale nutno stanovit funkci, podle které se bude tato hodnota počítat. Při stanovování funkce jsem vycházela z toho, že při velkých hodnotách skutečného odebíraného výkonu bude teplota ve zpětné větvi minimální a při malých hodnotách skutečného odebíraného výkonu bude teplota ve zpětné větvi maximální. Jako minimální hodnota byla stanovena $57,5\text{ }^\circ\text{C}$ a maximální $72,5\text{ }^\circ\text{C}$. Z těchto předpokladů byla vytvořena závislost skutečného odebíraného výkonu na teplotě ve zpětné větvi. Průběh této závislosti je vidět na následujícím grafu.



Graf 7 Závislost skutečného odebíraného výkonu na teplotě ve zpětné větvi



Obr. 21 Blok výpočtu teploty ve zpětné větvi

V tomto bloku probíhá výpočet teploty ve zpětné větvi. Při výpočtu se vychází z rovnice (5), ze které je vyjádřena proměnná ϑ_z , což je teplota ve zpětné větvi, vztah pak vypadá následovně:

$$\vartheta_z = \vartheta_p - \frac{P_T}{M_v \cdot c}, \quad (49)$$

kde: $\vartheta_p [^{\circ}\text{C}]$ - teplota v přívodní větvi,

$\vartheta_z [^{\circ}\text{C}]$ - teplota ve zpětné větvi horkovodu,

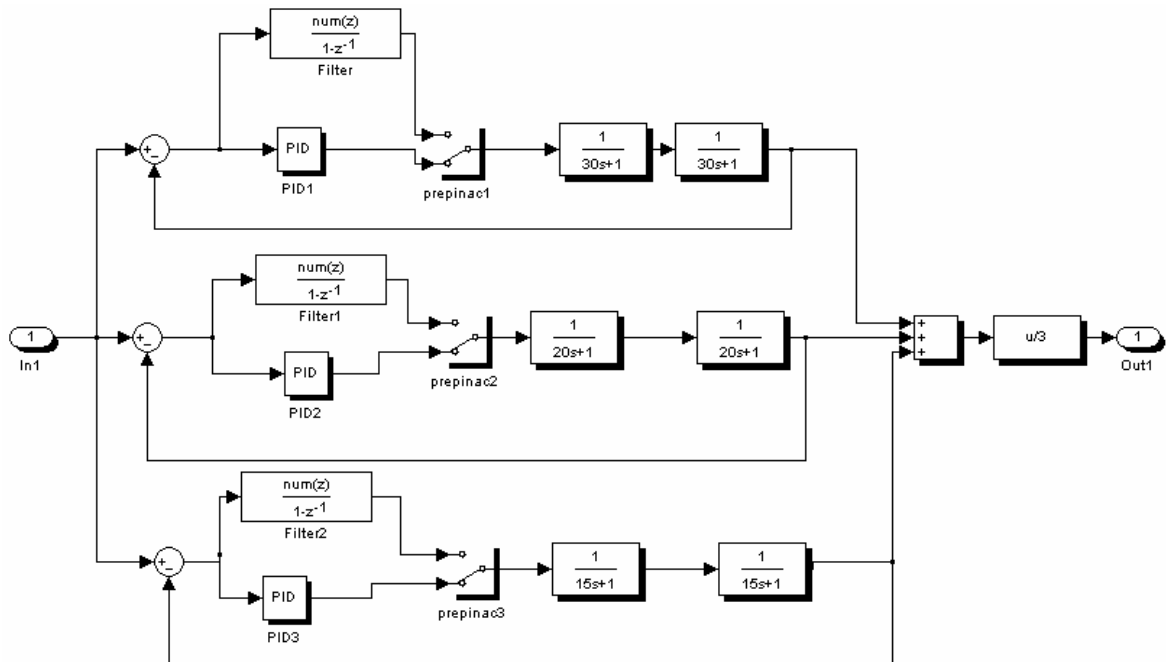
$P_T [W]$ - tepelný výkon horkovodu,

$M_v [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$ - hmotnostní tok vody v reálném čase,

$c [J \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$ - měrná tepelná kapacita.

8.3.6 Blok „sít' spotřebitelů“

Blok „sít' spotřebitelů“ představuje spotřebitele v teplotní síti. V tomto bloku se vyskytují jen 3 spotřebitelé, každý spotřebitel je charakterizován soustavou $G_S(s)$ s přenosem se setrvačností 2. řádu, přičemž každý spotřebitel má různé časové konstanty setrvačného členu. Také v tomto bloku můžeme být rozhodnuto, zda bude tato soustava řízena analogovým či diskretním regulátorem. Ve skutečnosti jsou využívány regulátory analogové.



Obr. 22 Síť spotřebitelů

Charakteristika spotřebitele 1

Tento spotřebitel je charakterizován následujícím přenosem:

$$G(s) = \frac{1}{30s+1} * \frac{1}{30s+1}. \quad (50)$$

Parametry PID regulátoru byly spočítány pomocí metody inverze dynamiky (kapitola 6.1) a nastavení z přechodové charakteristiky (kapitola 6.2). Přenosy regulátorů pak mají tvar:

- nastavení pomocí MID

$$G_R(s) = 1 + \frac{0.01\bar{6}}{s} + 15s, \quad (51)$$

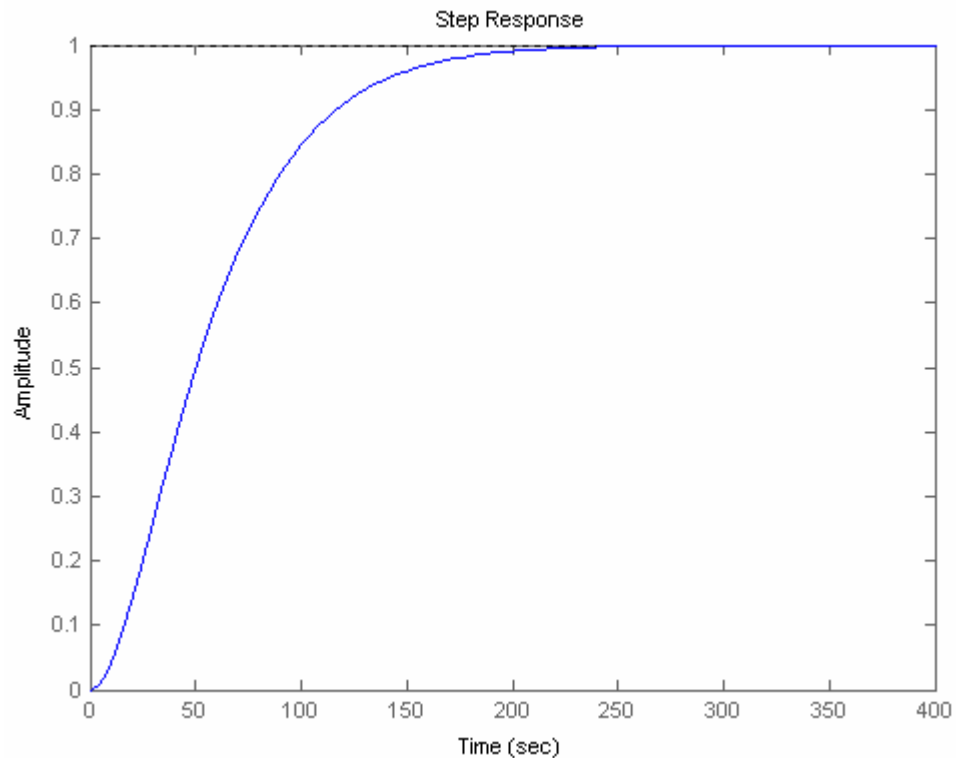
- nastavení z PCh

$$G_R(s) = 16.75 + \frac{1.17}{s} + 59.88s. \quad (52)$$

Přenos PSD regulátoru byl spočítán pomocí metody inverze dynamiky (kapitola 6.1), přenos má tvar:

$$G_R(s) = \frac{0.86222 - 0.80110z^{-1} + 0.18608z^{-2}}{1 - z^{-1}}, \quad (53)$$

vzorkovací perioda $T_v = 23$ s byla určena dle vztahu (37).



Graf 8 Přejchodová charakteristika spotřebitele 1

Charakteristika spotřebitele 2

Tento spotřebitel je charakterizován následujícím přenosem:

$$G(s) = \frac{1}{20s + 1} * \frac{1}{20s + 1}. \quad (54)$$

Parametry PID regulátoru byly spočítány pomocí metody inverze dynamiky (kapitola 6.1) a nastavení z přechodové charakteristiky (kapitola 6.2). Přenosy regulátorů pak mají tvar:

- nastavení pomocí MID

$$G_R(s) = 1 + \frac{0.025}{s} + 10s, \quad (55)$$

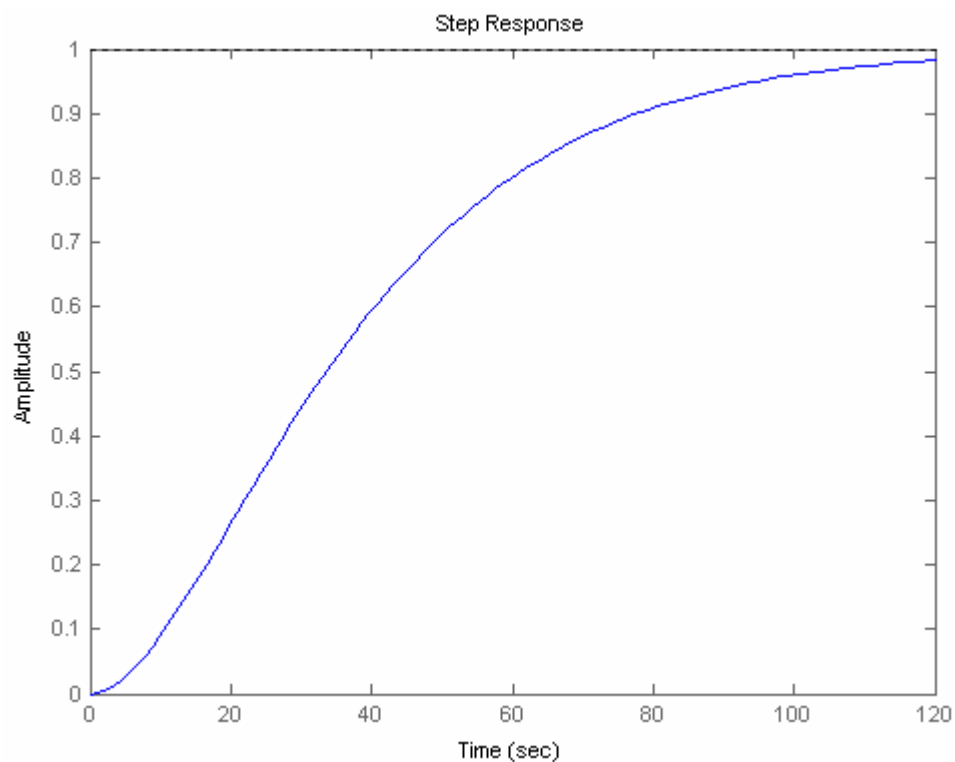
- nastavení z PCh

$$G_R(s) = 15.2273 + \frac{1.5919}{s} + 34.4146s. \quad (56)$$

Přenos PSD regulátoru byl spočítán pomocí metody inverze dynamiky (kapitola 6.1), přenos má tvar:

$$G_R(s) = \frac{0.81956 - 0.73651z^{-1} + 0.16547z^{-2}}{1 - z^{-1}}, \quad (57)$$

vzorkovací perioda $T_v = 16$ s byla určena dle vztahu (37).



Graf 9 Přejchodová charakteristika spotřebitele 2

Charakteristika spotřebitele 3

Tento spotřebitel je charakterizován následujícím přenosem:

$$G(s) = \frac{1}{15s+1} * \frac{1}{15s+1}. \quad (58)$$

Parametry PID regulátoru byly spočítány pomocí metody inverze dynamiky (kapitola 6.1) a nastavení z přechodové charakteristiky (kapitola 6.2). Přenosy regulátorů pak mají tvar:

- nastavení pomocí MID

$$G_R(s) = 1 + \frac{0.0\bar{3}}{s} + 7.50s, \quad (59)$$

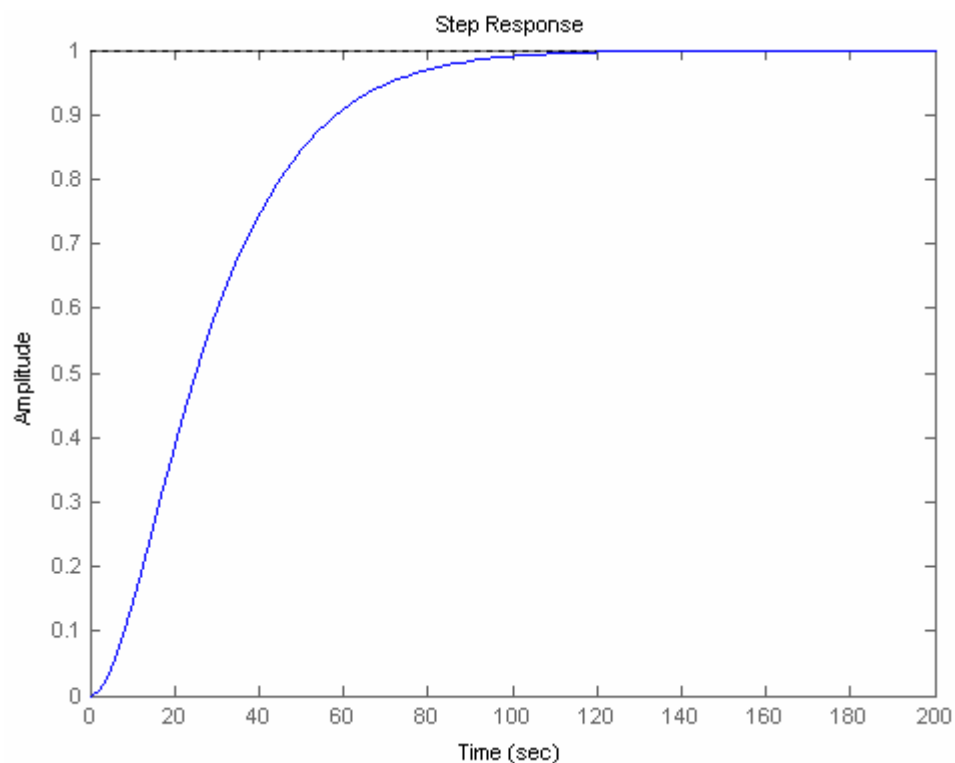
- nastavení z PCh

$$G_R(s) = 13.4375 + \frac{1.6909}{s} + 26.6970s. \quad (60)$$

Přenos PSD regulátoru byl spočítán pomocí metody inverze dynamiky (kapitola 6.1), přenos má tvar:

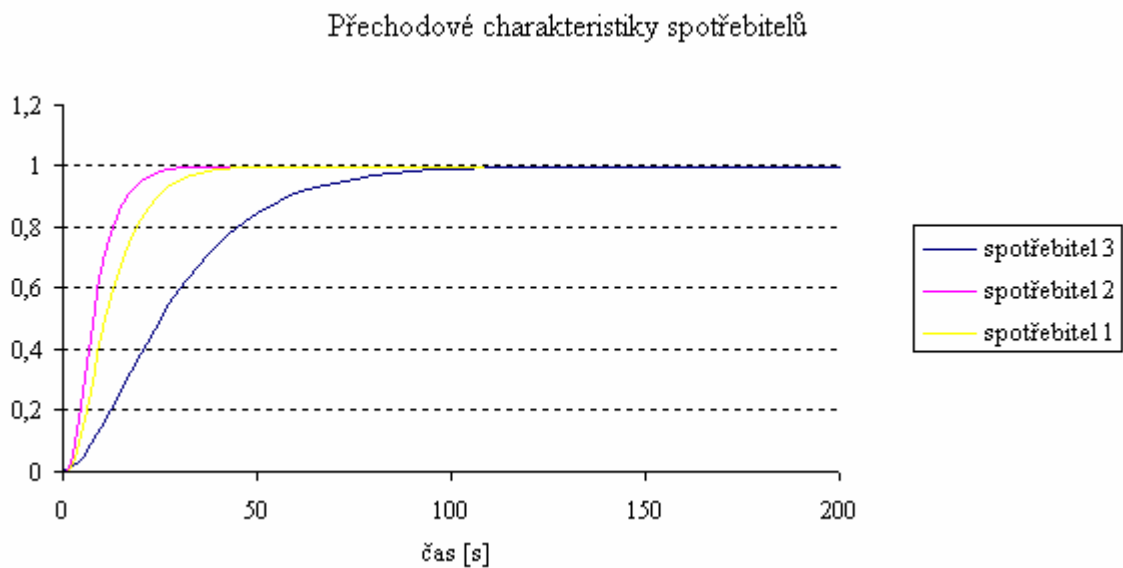
$$G_R(s) = \frac{0.73271 - 0.61599z^{-1} + 0.12947z^{-2}}{1 - z^{-1}}, \quad (61)$$

vzorkovací perioda $T_v = 13$ s byla určena dle vztahu (37).



Graf 10 Přechodová charakteristika spotřebitele 3

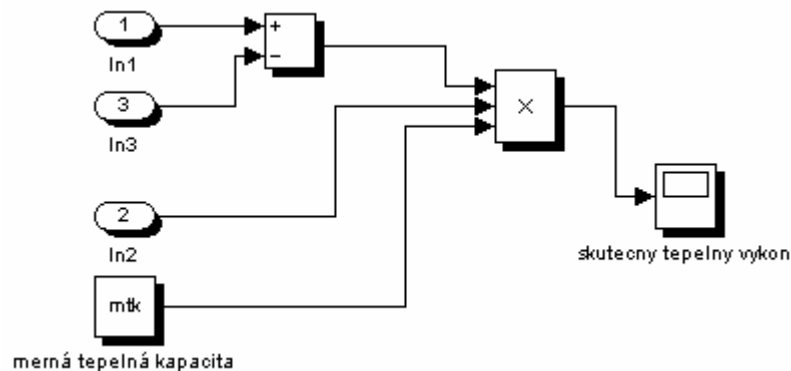
V následujícím grafu jsou zobrazeny dohromady přechodové charakteristiky všech 3 spotřebitelů.



Graf 11 Přechodové charakteristiky

8.3.7 Blok „výpočet skutečného výkonu“

V tomto bloku je realizován výpočet skutečného výkonu, tento výpočet probíhá na základě rovnice (1), tento vztah reprezentuje i následující blok.

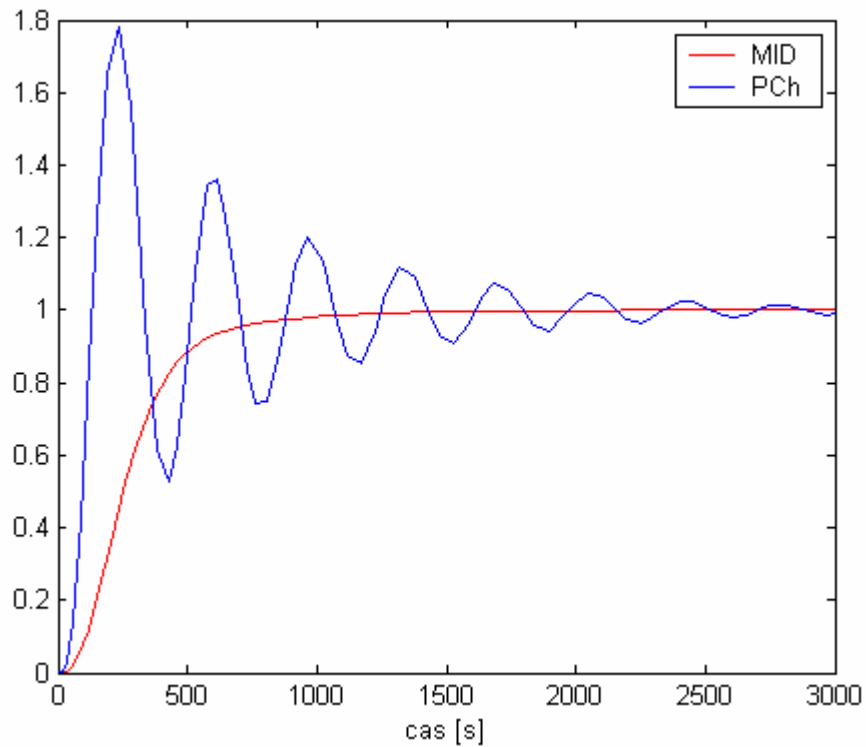


Obr. 23 Blok výpočtu skutečného výkonu

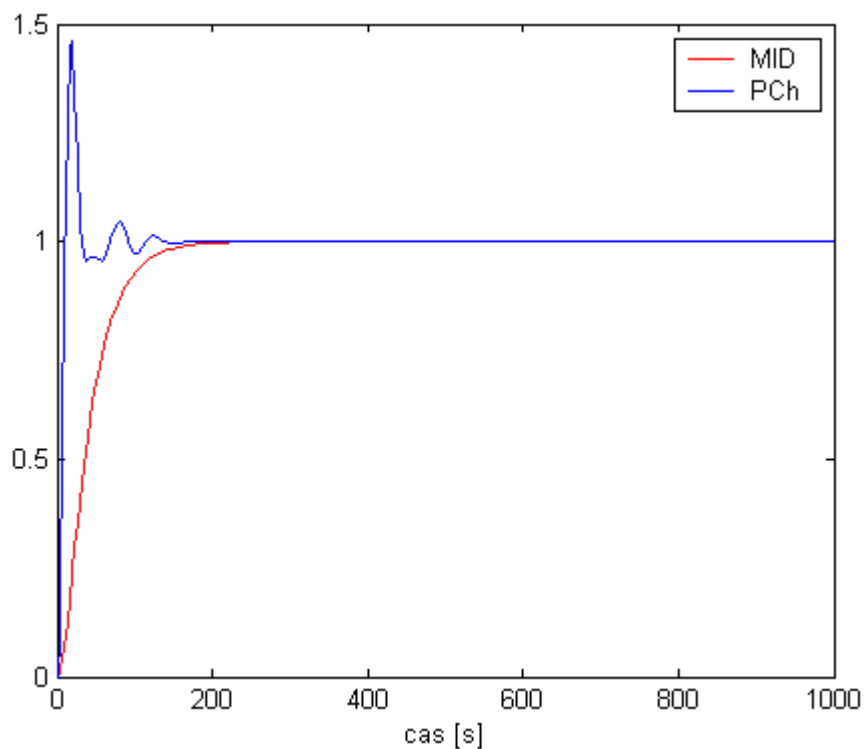
8.4 Nastavení PID regulátorů

Na základě odezvy na jednotkový skok byly porovnány obě metody nastavení PID regulátoru (kapitola 6.1 a kapitola 6.2). Z grafu 12 je patrné, že u nastavení z přechodové

charakteristiky (43) velké zesílení (r_0) způsobuje nestabilitu systému. Oproti tomu u nastavení pomocí metody inverze dynamiky (42) má odezva na jednotkový skok hladký průběh, což ovlivňuje zesílení (r_0) a derivační složka (r_1), která stabilizuje systém.

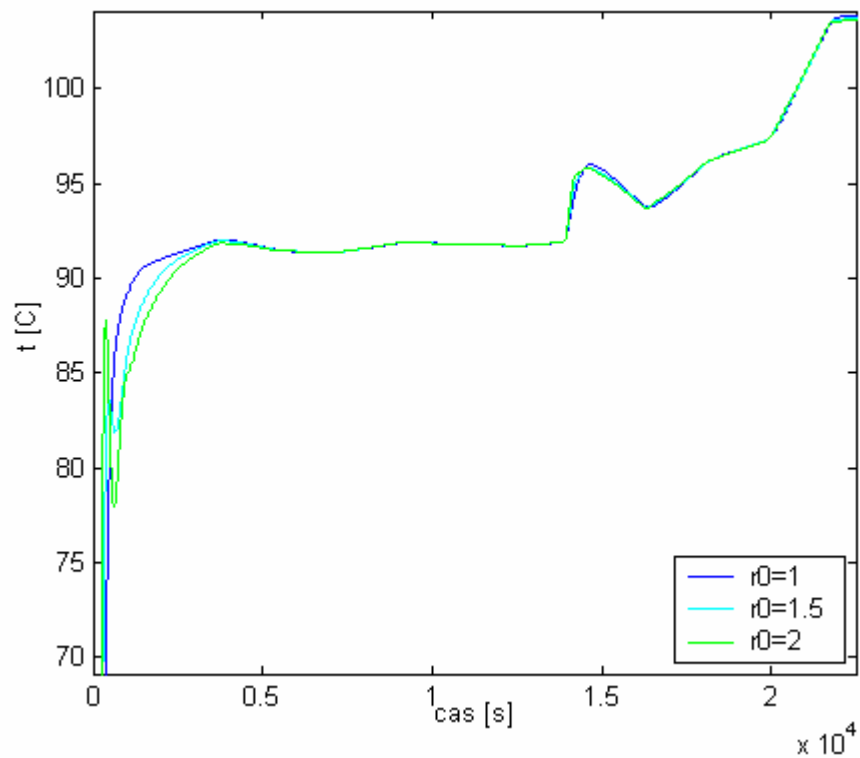


Graf 12 Porovnání MID a PCh – horkovodní kotel

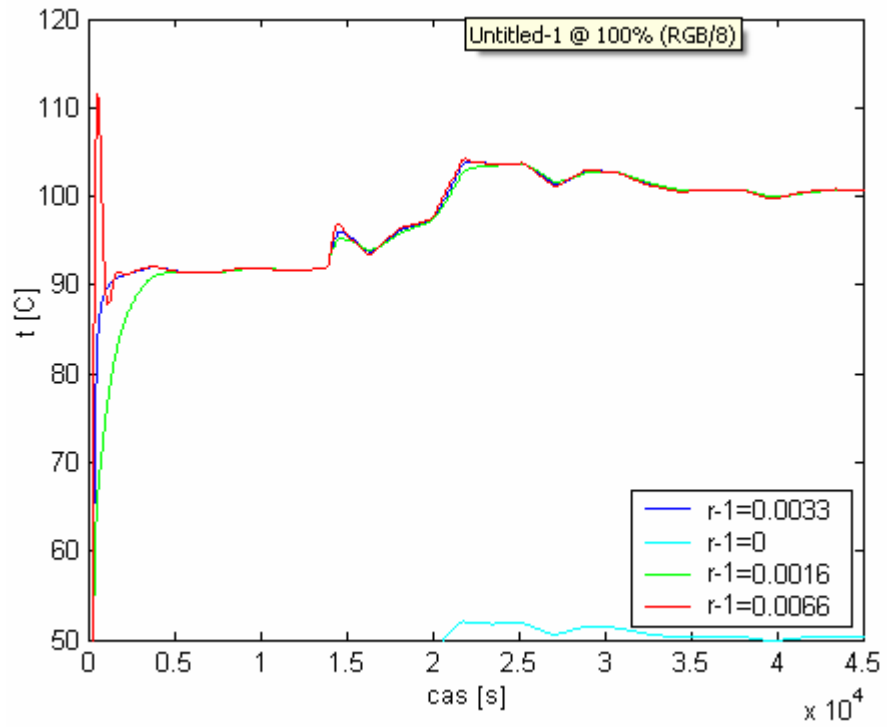


Graf 13 Porovnání MID a PCh - síť spotřebitelů

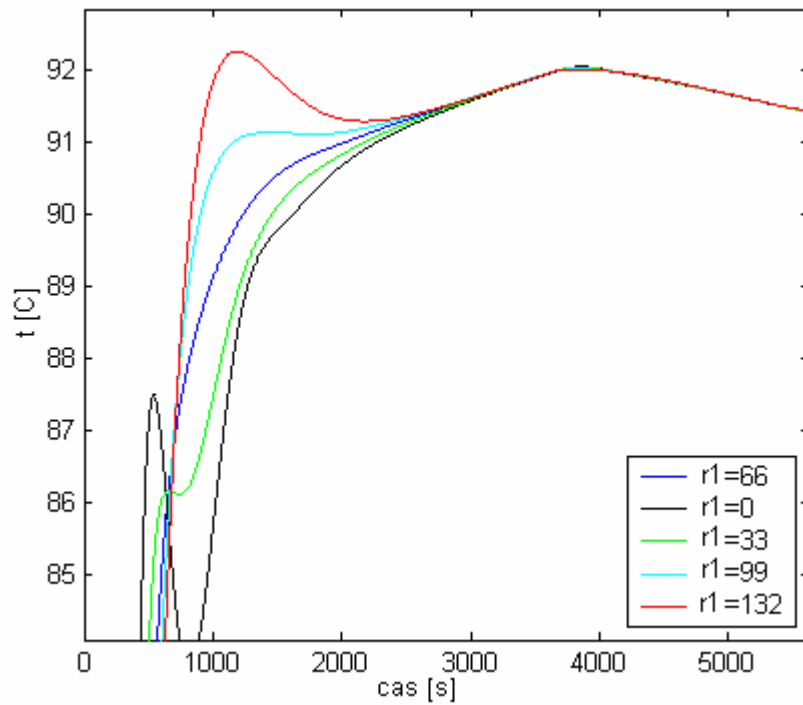
V dalších grafech je ukázán vliv jednotlivých složek PID regulátoru. Jednotlivé koeficienty regulátoru jsou různě měněny. Průběh ukazuje výstup z horkovodního kotle, tudíž ukazuje křivku teploty v přívodní větvi. Na prvním místě v legendě grafu je vždy uvedeno původní, vypočítané nastavení (42).



Graf 14 Vliv P složky



Graf 15 Vliv I složky



Graf 16 Vliv D složky

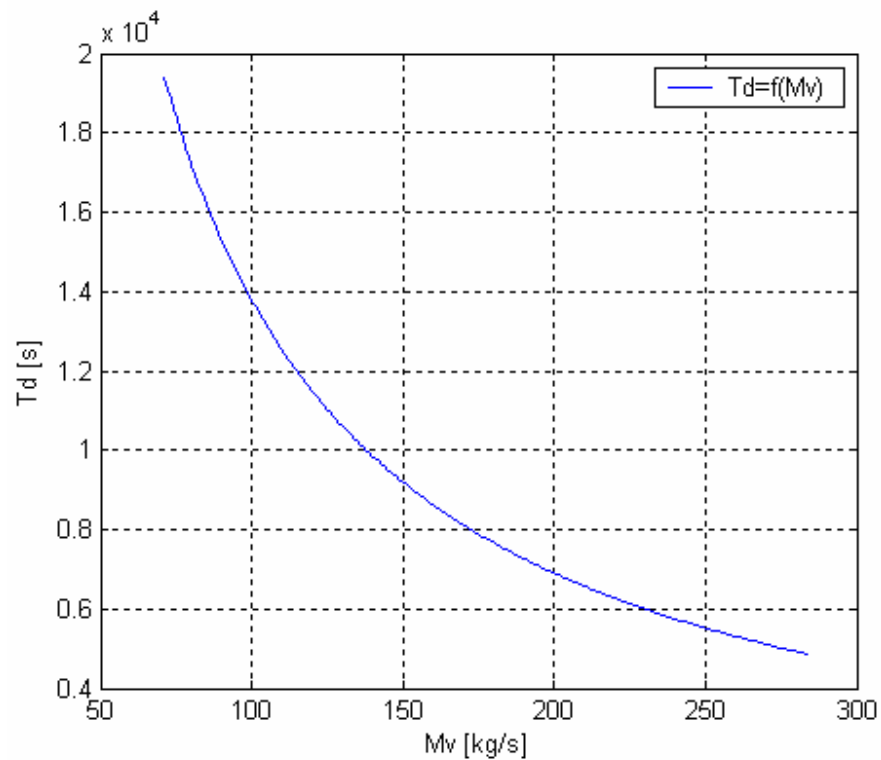
9 SIMULACE

Vstupní data pro simulace pocházejí z teplárny Olomouc. Pro simulace byla použita historická oblast dat, která začíná na hodnotě 96. Teplotní vliv není zahrnut. Předpověď denního diagramu dodávky tepla byla vypočtena pomocí metody superpozice modelů. Použity jsou regulátory PID. Nastavení regulátorů bylo provedeno pomocí metody inverze dynamiky.

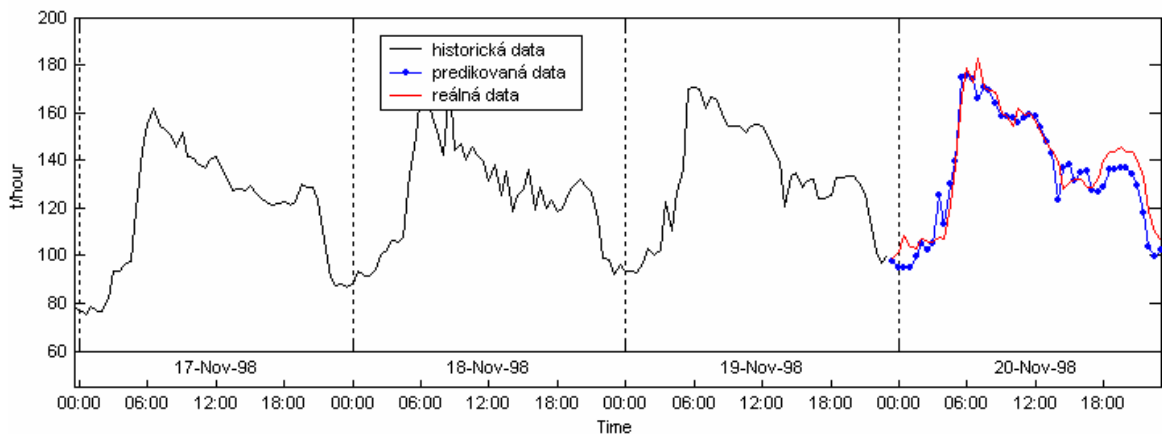
Počáteční podmínky simulací:

- známe skutečnou spotřebu tepla – průběh skutečného tepelného výkonu u spotřebitele $P_{T,T(i)}^s$,
- hmotnostní tok $M_{v,T(i)}^s = 142,4$ kg/s bude konstantní do doby, než začne působit kvantitativní korekce,
- průměr potrubí 0,5 m,
- délka potrubí 1000 m,
- hustota média 1000 kg/m³,
- měrná tepelná kapacita média 4180 J/kg.K,
- doba simulace 86400 s.

V následujících grafech je vykreslena závislost dopravního zpoždění na hmotnostním toku a predikce výkonu – v grafu jsou vykreslená historická data 3 dny dozadu, predikovaná a reálná data na 1 den.



Graf 17 Závislost dopravního zpoždění na hmotnostním toku



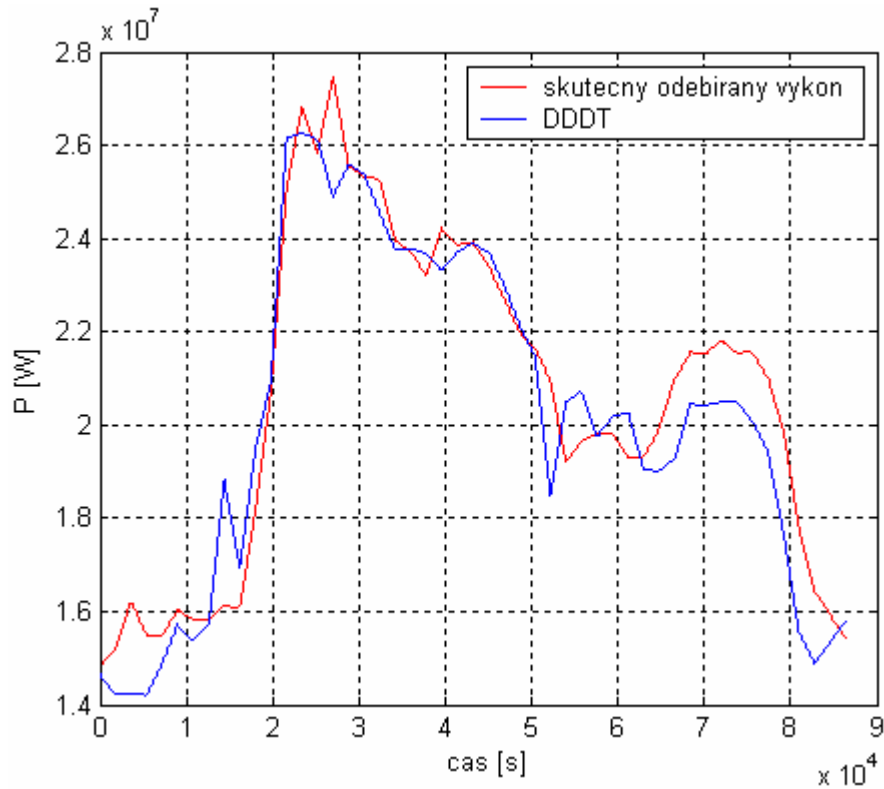
Graf 18 Predikce výkonu

9.1 SIMULACE 1

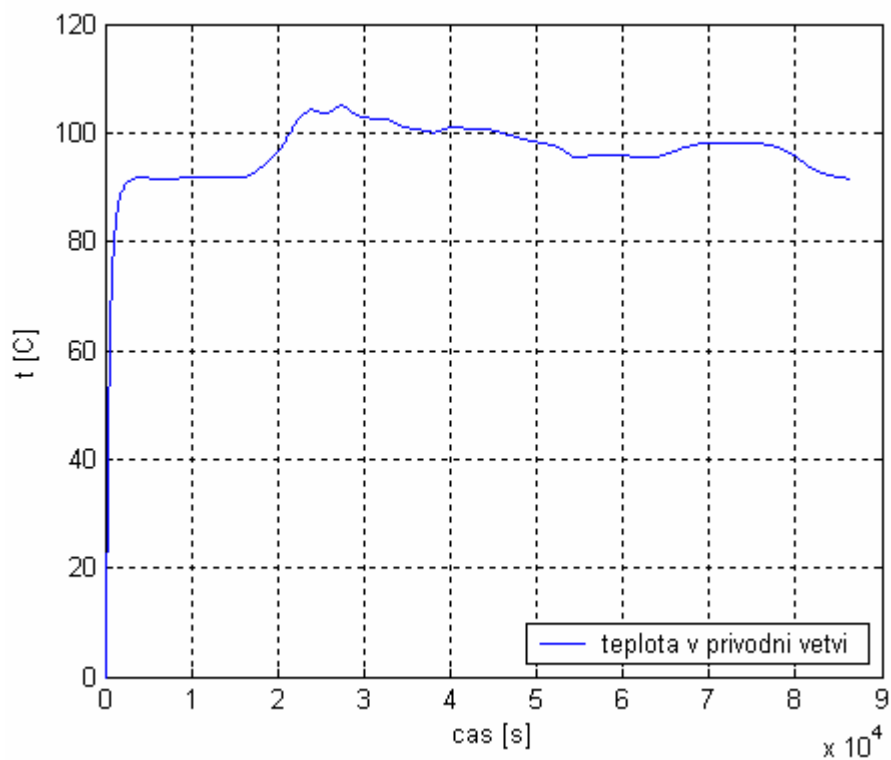
Konstantní hmotnostní tok, ovládáme teplotu v přívodní větvi.

V této simulaci se musí v bloku kvantitativní část přepnout přepínač na konstantní hmotnostní tok. Tím je odpojena část, která slouží pro přičtení korekce hmotnostního toku

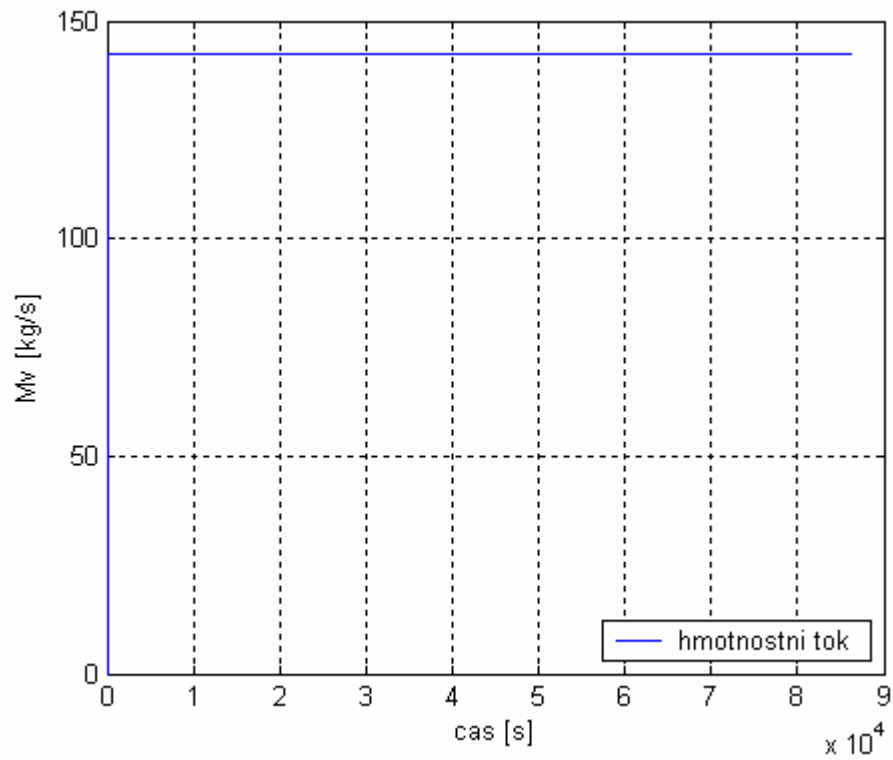
$\Delta M_{v,T(t)}$, k počátečnímu hmotnostnímu toku ΔM_v . To má za následek, že hmotnostní tok ΔM_v se po celou dobu simulace nemění a řízení probíhá pouze změnou teploty v přívodní větvi $\Delta \vartheta_p$.



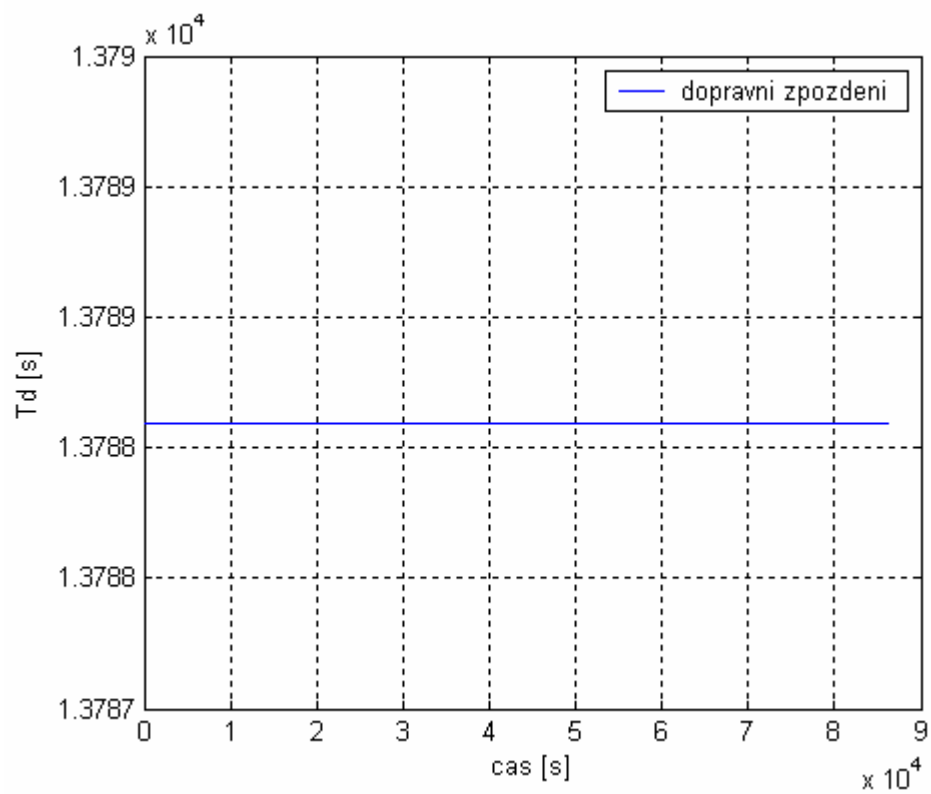
Graf 19 Průběh skutečného a předpokládaného tepelného výkonu



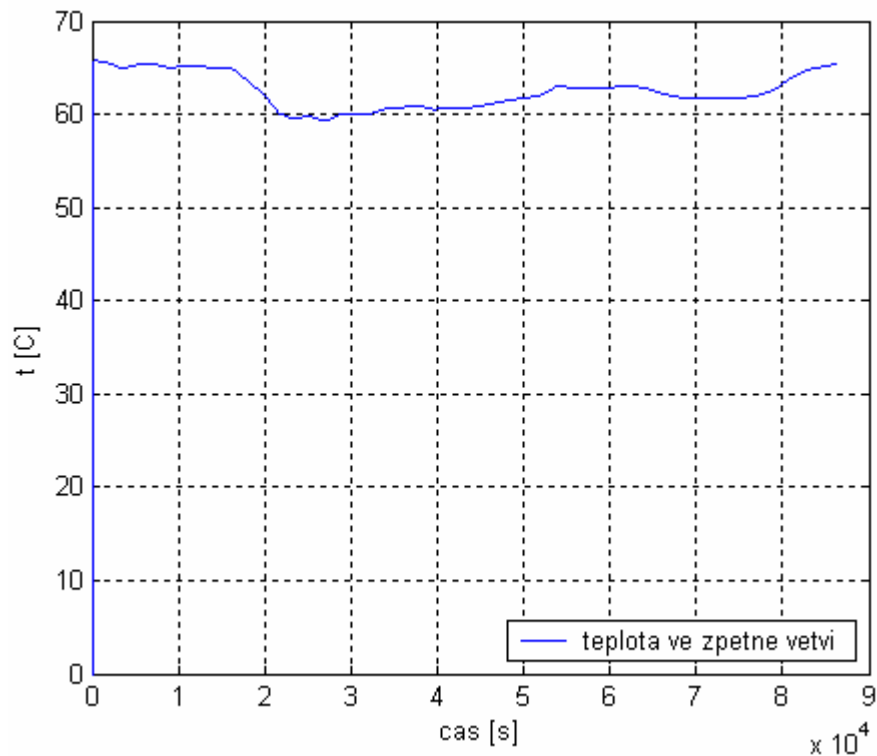
Graf 20 Teplota v přívodní větvi



Graf 21 Hmotnostní tok



Graf 22 Dopravní zpoždění

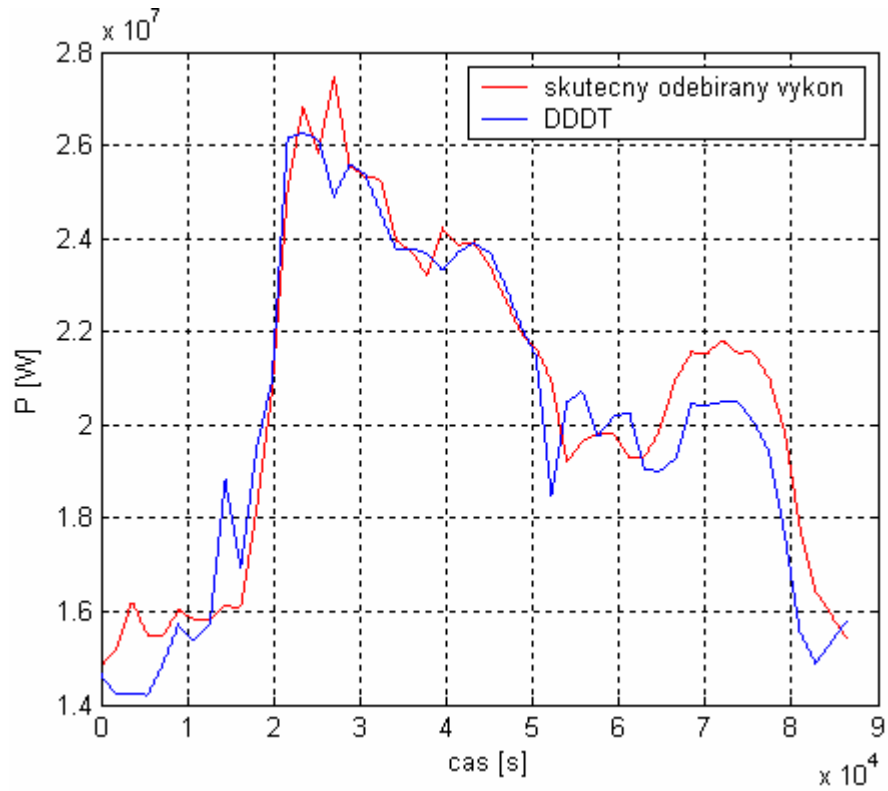


Graf 23 Teplota ve zpětné větvi

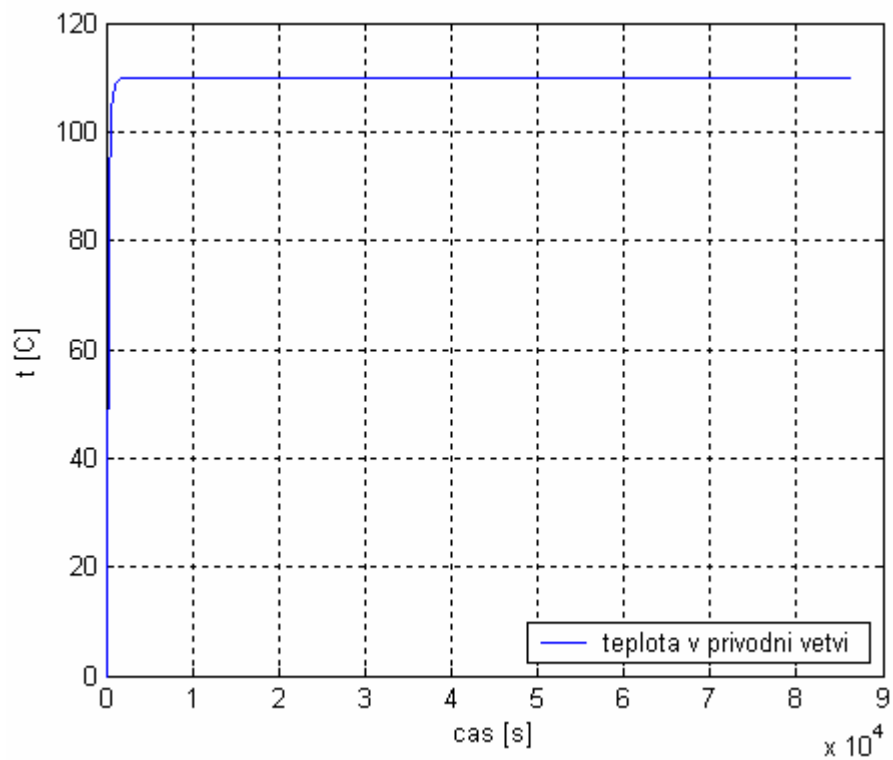
9.2 SIMULACE 2

Konstantní teplota v přívodní větvi, ovládáme hmotnostní tok.

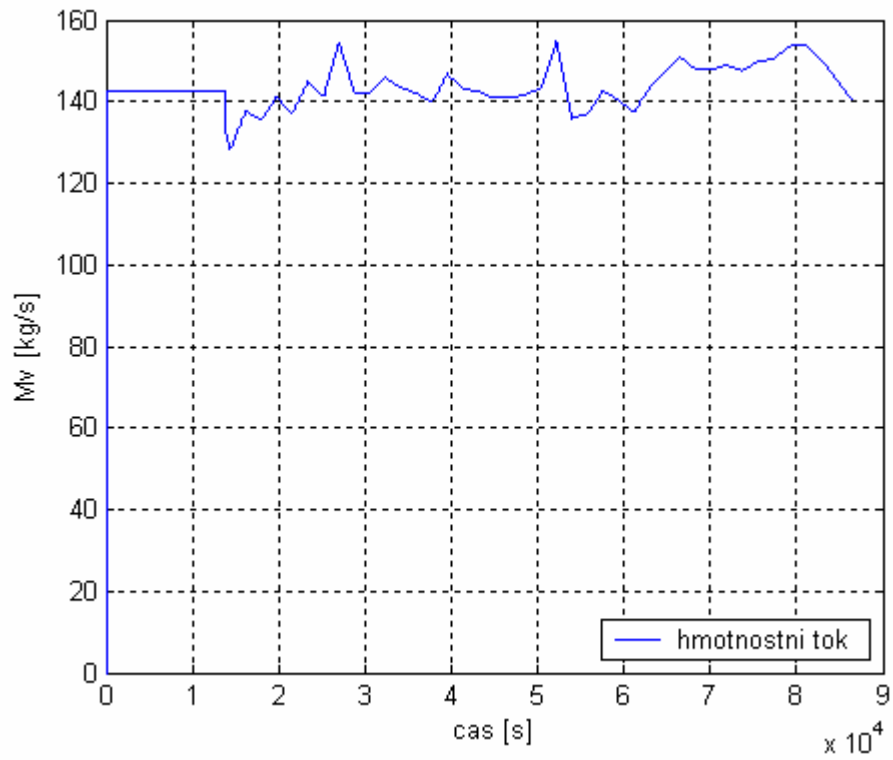
U této simulace se v bloku kvalitativní část musí přepínač nastavit na konstantní teplotu. Potom zde neřídíme velikost teploty \mathcal{G}_p^S , ta bude konstantní (110 °C), ale pouze velikost hmotnostního toku M_v^S . Regulace výkonu horkovodu pomocí změn hmotnostního toku ΔM_v^S neslouží k výrobě celého potřebného výkonu P_T^S , ale pouze výkonově dorovnáva rozdíl mezi skutečným a požadovaným výkonem ΔP_T . Zároveň se tím eliminuje vliv dopravního zpoždění. [2]



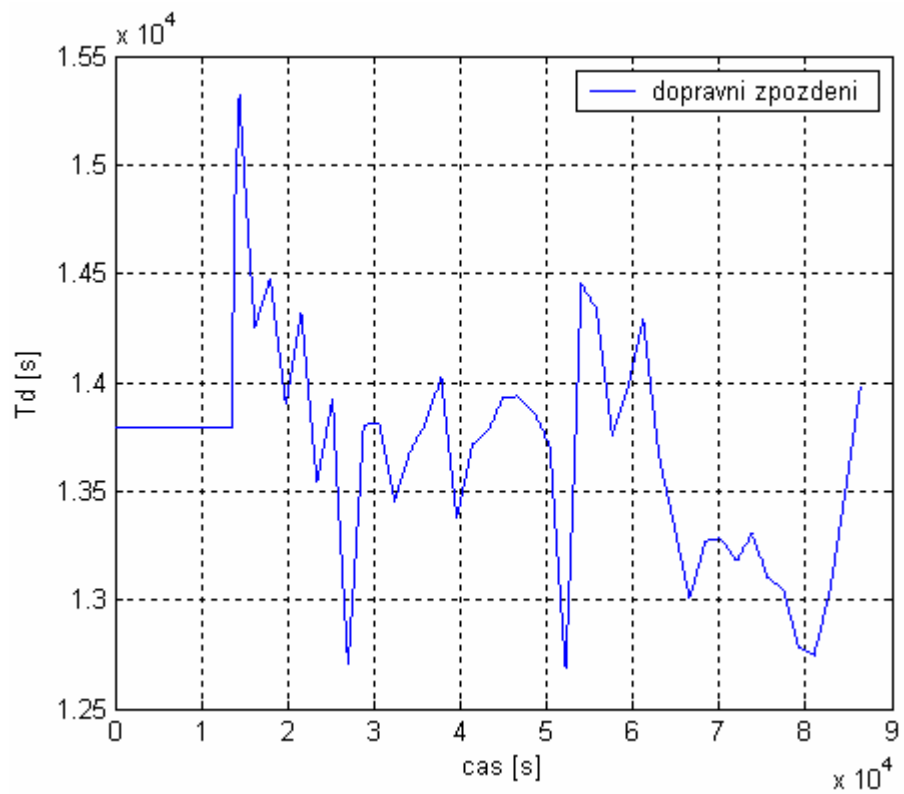
Graf 24 Průběh skutečného a předpokládaného tepelného výkonu



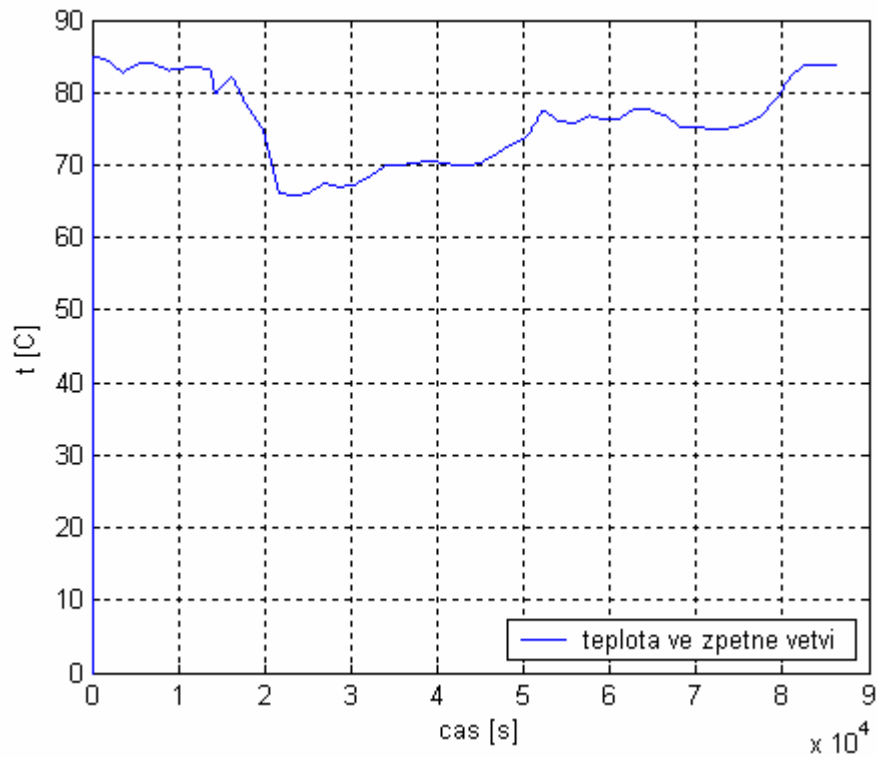
Graf 25 Teplota v přívodní větvi



Graf 26 Hmotnostní tok



Graf 27 Dopravní zpoždění

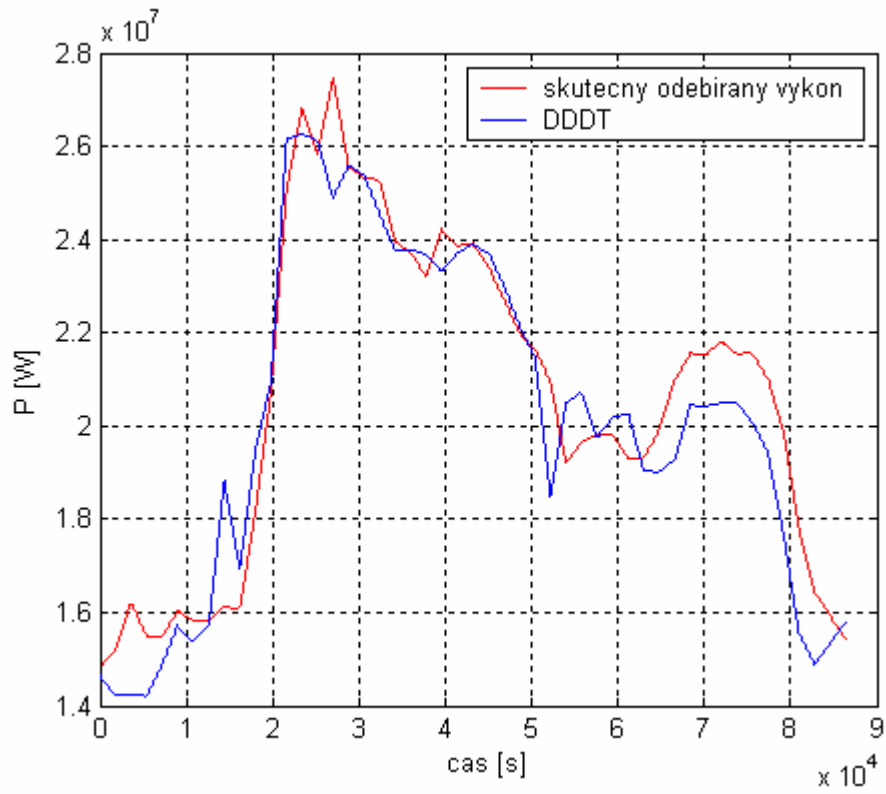


Graf 28 Teplota ve zpětné větvi

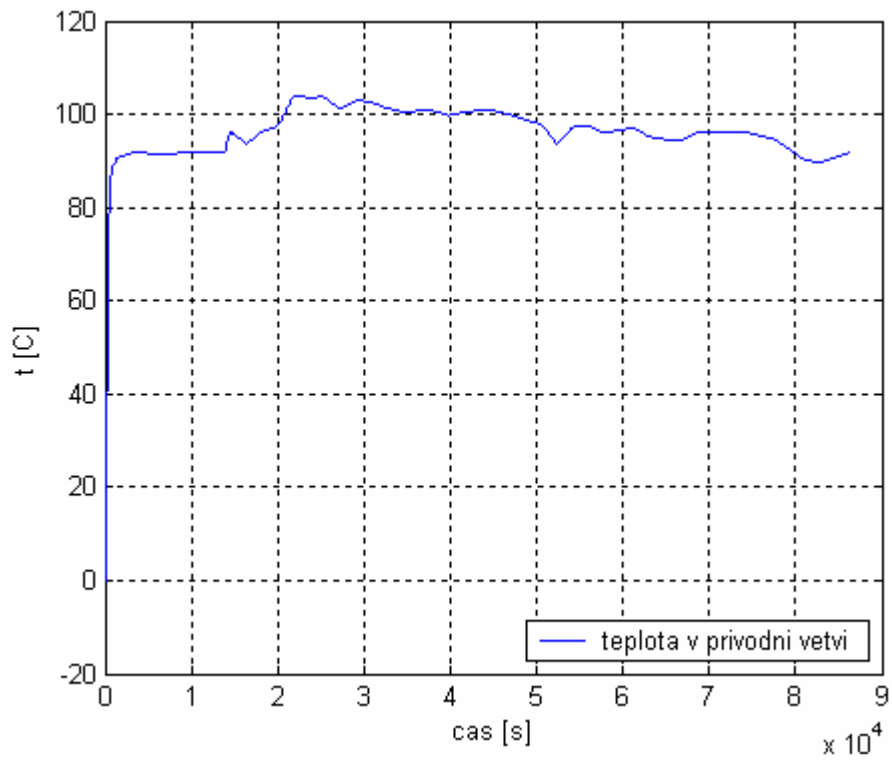
9.3 SIMULACE 3

Řídíme hmotnostní tok i teplotu v přívodní větvi.

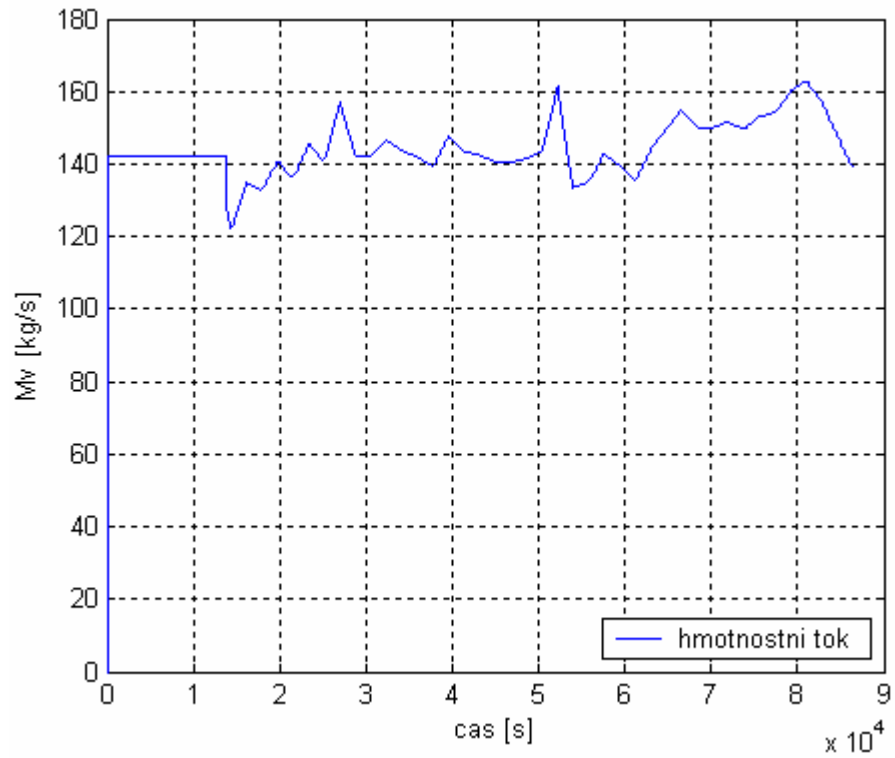
Zde je provedena simulace s využitím celého kvalitativně- kvantitativního algoritmu. Je zde řízena jak teplota v přívodní větvi \mathcal{G}_p^S , tak po uplynutí doby $T0$ i hmotnostní tok M_v^S .



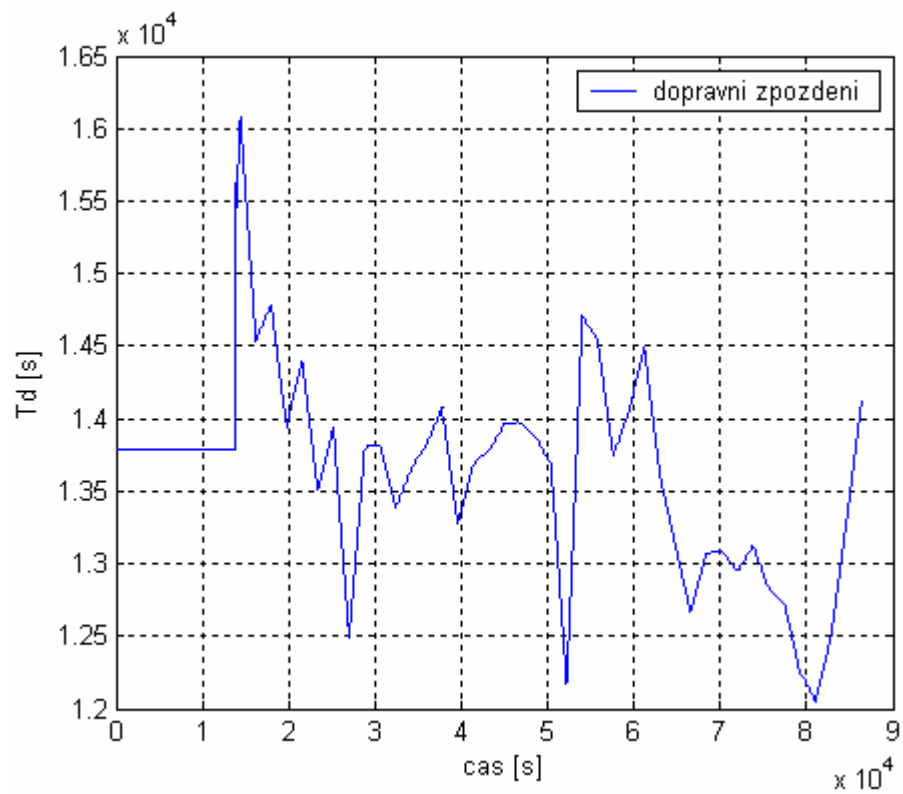
Graf 29 Průběh skutečného a předpokládaného tepelného výkonu



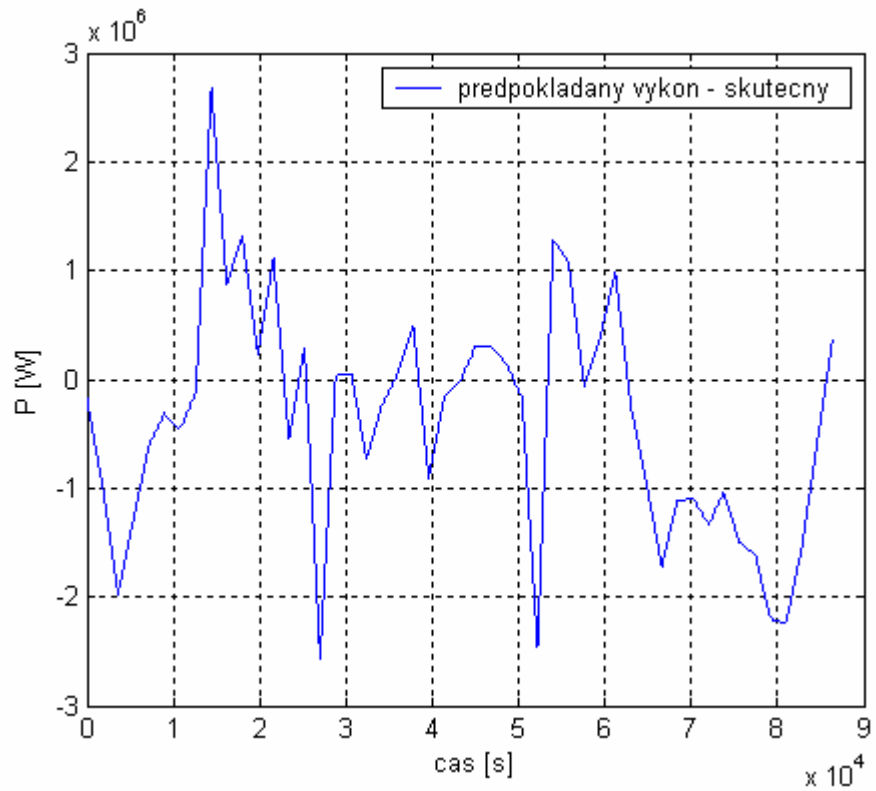
Graf 30 Teplota v přívodní větvi



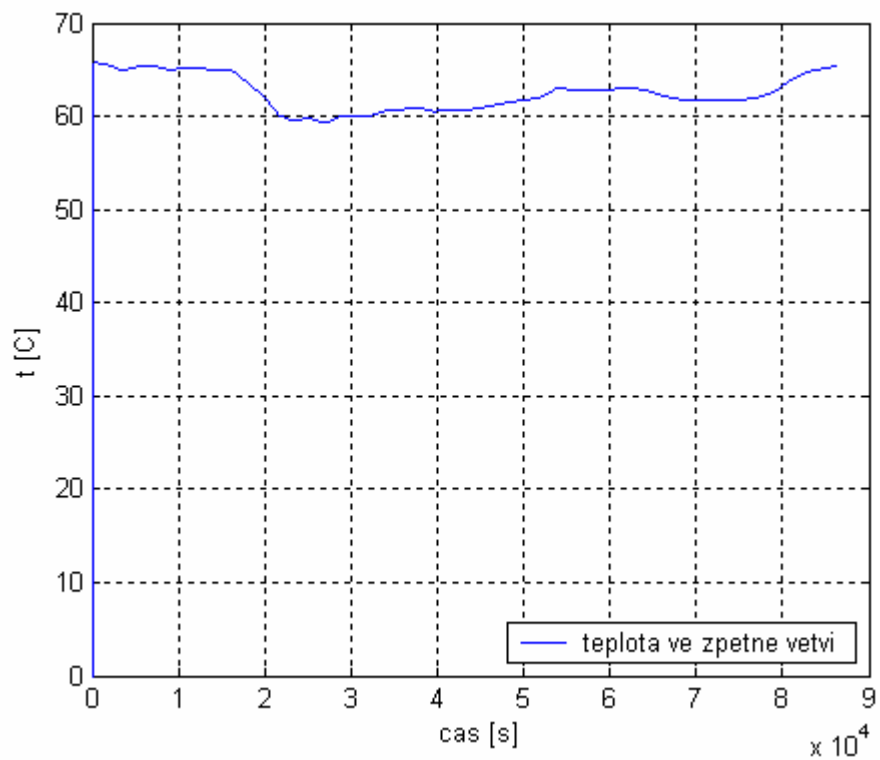
Graf 31 Hmotnostní tok



Graf 32 Dopravní zpoždění



Graf 33 Rozdíl předpokládaného a skutečného výkonu



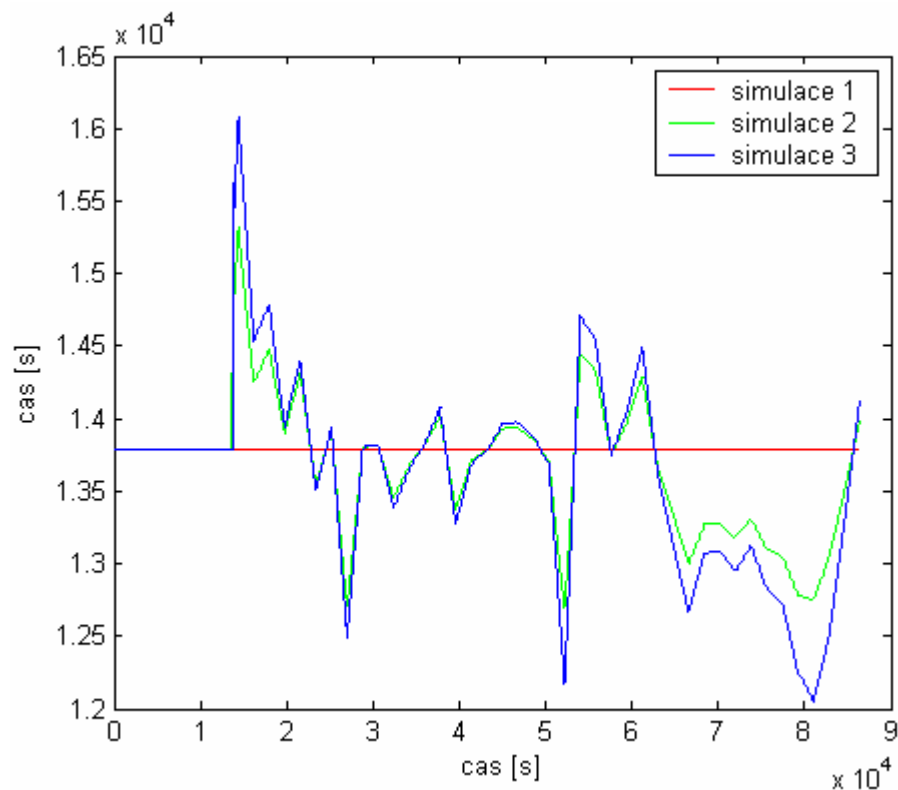
Graf 34 Teplota ve zpětné větvi

9.4 SIMULACE 4

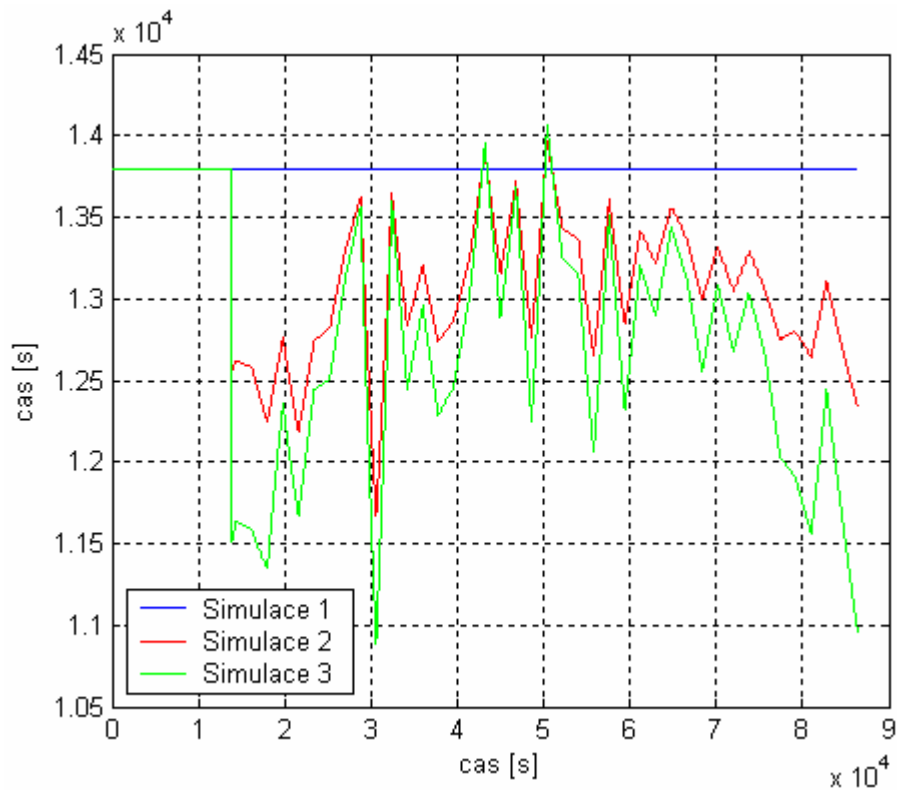
Porovnání dopravního zpoždění.

V této simulaci bylo porovnáno dopravní zpoždění, toto porovnání bylo provedeno pro popisované simulace 1, 2, 3 (graf 35) a také pro simulace, které začínali na historické oblasti 1 (graf 36), ale jiným nastavením se nelišily.

Z grafu 35 je patrné, že dopravní zpoždění nám ovlivňuje predikce DDDT. V našich simulacích je místy DDDT větší než skutečný odebíraný výkon (graf 29) a tato skutečnost má vliv na zvětšení dopravního zpoždění, zejména pak při simulaci 3. Nutno podotknout, že zvýšení dopravního zpoždění je jen v těch časových intervalech, kdy je DDDT větší než skutečný odebíraný výkon, pokud ovšem je DDDT menší než skutečný odebíraný výkon, jasně dochází ke snížení dopravního zpoždění.



Graf 35 Dopravní zpoždění pro simulace 1, 2, 3

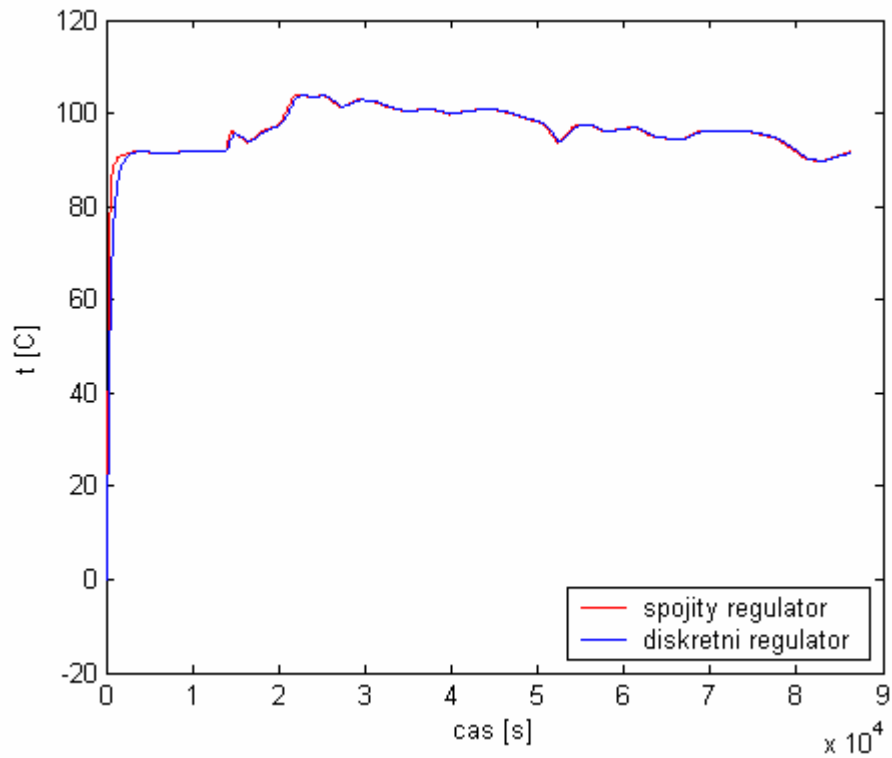


Graf 36 Dopravní zpoždění pro simulace 1, 2, 3 (historická oblast dat = 1)

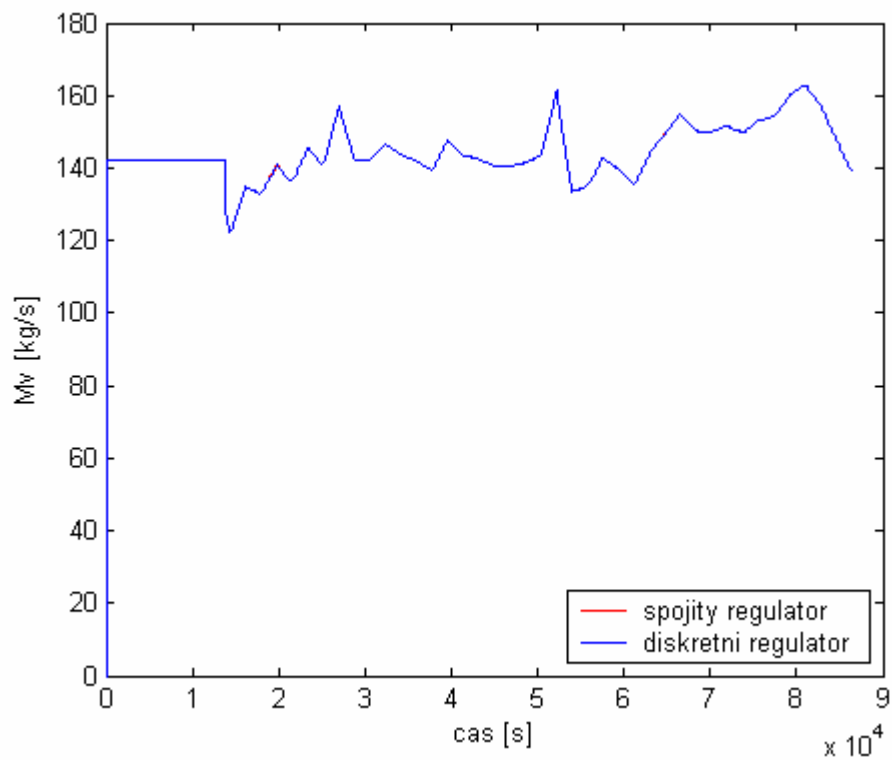
9.5 SIMULACE 5

Porovnání spojitého a diskrétního regulátoru.

Porovnání kvality regulace teploty v přívodní větvi a hmotnostního toku. Použit je spojitý a diskrétní regulátor. Regulátory jsou nastaveny pomocí metody inverze dynamiky (kapitola 6.1). Z grafů 37, 38 je vidět, že regulátory regulují téměř stejně.



Graf 37 Srovnání spojitého a diskrétního regulátoru na teplotě v přívodní větvi



Graf 38 Srovnání spojitého a diskrétního regulátoru na hmotnostním toku

ZÁVĚR

Tato práce slouží k simulaci řízení tepelného výkonu horkovodu, jádro simulace je řízeno pomocí kvalitativně – kvantitativního algoritmu. Použití tohoto algoritmu je výhodné, když jsou odběratelé relativně soustředěni. V praxi je to případ, kdy je soustava centralizovaného zásobování teplem vzdálena od zdroje tepla (teplárenského výměníku). V tomto případě vzniká při klasickém kvalitativním řízení výkonu velké dopravní zpoždění, které nám ztěžuje efektivně reagovat na případnou změnu odebíraného výkonu spotřebiteli. U kvalitativně-kvantitativního způsobu řízení výkonu působíme kromě změny teploty taky na změnu hmotnostního toku teplotnosného média. To má za důsledek že jsme schopni lépe reagovat na změnu odebíraného výkonu a tím zároveň eliminujeme vliv dopravního zpoždění.

V programovém prostředí MATLAB a Simulink byl vytvořen program, který umožňuje simulovat řízení výkonu horkovodu pomocí kvalitativně–kvantitativního algoritmu. Program obsahuje také část, která umožňuje predikovat denní diagram dodávky tepla na základě skutečných naměřených dat. Tato možnost je zde aplikována prostřednictvím upravené verze programu pro předpověď DDDT, který navrhl Ing. Bronislav Chramcov v rámci své disertační práce. Při řešení této práce jsem se nedostala k vypracování ekonomického zhodnocení nasazení řízení horkovodu.

Před vlastní simulací byly prováděny simulace, v nichž je možné sledovat vliv změny jednotlivých složek PID regulátoru na kvalitu regulačního pochodu. Simulace byly hlavně zaměřeny na teplotu v přívodní větvi \mathcal{G}_z , protože tato veličina je jednou ze dvou akčních veličin, které jsou základem kvalitativně-kvantitativního způsobu řízení.

Za pomocí programu, který byl doplněn o některé další možnosti simulace a rozšíření simulačního schématu, jsem provedla několik simulací. Výsledky těchto simulací jsou zpracovány v kapitole 9, kde jsou zobrazeny průběhy jednotlivých veličin a je zde také ukázán vliv zvláště kvalitativní a kvantitativní části algoritmu na řízení. Simulacemi byl také dokázán pozitivní vliv kvalitativně-kvantitativního způsobu řízení na eliminaci dopravního zpoždění.

CONCLUSION

The diploma deals with operating of heat rate hot-water pipe. A nub of simulation is controlled by the help of qualitative - quantitative algorithm. Application of this algorithm is useful if customers are in one place, relative. Practically is it a case when is system of centralized supply of heat distance of source. In this case rise a capital delay which make us more difficult to respond at a change (alternation) demanded achievement for customer. By the qualitative - quantitative method steerage achievement appeal change of temperature and a change of mass flow heating-medium. That we are able better respond to changes of demanded achievement and then we can eliminate influence of capital delay.

In programmatic media MATLAB and SIMULINK was created a program which makes possible simulation of heat rate hot-water pipe by the help of qualitative-quantitative algorithm. The program contains a part which make us possible predicate daily diagram of supplies heat pursuant to real measured data. This situation is used by means of modified program version for weather prognosis DDDT which projected Ing. Bronislav Chramcov in frames his thesis.

Before self-simulation was pursued simulations in which is possible to monitor influence of change separate components of PID regulator on quality control performance. The simulation was mainly located temperature in incoming line ϑ_z .

With the help of program which was completioned about another possibilities of simulations and expansion of simulation schema I made several simulations. Results of these simulations are processed in chapter 9 of my diploma where they are displayed processes of separate quantities and further is here display influence of qualitative and quantitative part of algorithm on operating. By simulations was demonstration positive influence qualitative-quantitative method of operating on elimination of capital delay.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Hurych, J.[2005]. Řízení tepelného výkonu horkovodu v rozlehlých teplotních soustavách – simulace uzavřeného regulačního obvodu. Diplomová práce, UTB ve Zlíně, FT.
- [2] Eliáš, J. [2006]. Řízení tepelného výkonu horkovodu – simulace uzavřeného regulačního obvodu. Diplomová práce, UTB ve Zlíně, FAI.
- [3] Chramcov, B. [2006]. Algoritmy řízení ve výrobě a rozvodu tepla: Předpověď denního diagramu dodávky tepla. Disertační práce. UTB ve Zlíně, FAI.
- [4] Balátě, J., Chramcov, B. [2003]. Způsob řízení tepelného výkonu horkovodu za současného působení kvalitativní i kvantitativní části řízení. Příloha č. 1 k závěrečné zprávě o řešení grantového projektu GACR 101/01/0345, číslo výzkumné zprávy: VZTUTB-FT-IIT/2003/1, UTB ve Zlíně, FT.
- [5] Balátě, J. [2003]. Automatické řízení 1. BEN, Praha, ISBN 80-7300-020-2.
- [6] *Metoda inverze dynamiky* [online]. Dostupný z WWW: <http://www.fs.vsb.cz/books/DeltaTransAS/index.htm>.
- [7] Perůtka, K. [2004]. MATLAB – základy pro studenty informačních technologií a automatizace. Učební materiál. UTB ve Zlíně, FT.
- [8] *MATLAB - popis produktu* [online]. Dostupný z WWW: <http://www.humusoft.cz/matlab/matlab.htm>.
- [9] *Simulink - popis produktu* [online]. Dostupný z WWW: <http://www.humusoft.cz/matlab/simulink.htm>.
- [10] Klasické metody návrhu regulátorů. Učební materiál předmětu TAŘ 1. UTB ve Zlíně.
- [11] Balátě, J. [1994]. Čs patent č. 279253 – Způsob řízení tepelného výkonu horkovodu a zapojení k provádění tohoto způsobu.
- [12] Box, G. E. P., Cox, G. M. [1976]. Time Series Analysis, Forecasting and Control. Holden Day, ISBN 0-13-905100-7, San Francisco.
- [13] Arvastson, L. [2001]. Stochastic modeling and operational optimization in district – heating systems. PhD thesis. Mathematical Statistics, Lund University, Lund, Sweden, ISBN 91-628-4855-0.

- [14] Dostál, P. [1986]. Strojové zpracování předpovědi průběhu denního diagramu zatížení soustavy centralizovaného zásobování teplem. Disertační práce. Fakulta strojní VUT, Brno.
- [15] Vítěčková, M. 2000. Seřízení regulátorů metodou inverze dynamiky. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2000. ISBN 80-7078-628-0.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ϑ_p^s	°C	Skutečná teplota v přívodní větvi horkovodu.
ϑ_z^s	°C	Skutečná teplota ve vratné větvi horkovodu.
ϑ_p	°C	Předpokládaná teplota ve přívodní větvi horkovodu.
ϑ_z	°C	Předpokládaná teplota ve vratné větvi horkovodu.
ϑ_{SP}	°C	Teplota u spotřebitele.
Ψ	°C	Exponent závislý od charakteru potrubí.
$\Delta \vartheta^p$	°C	Předpokládaný tepelný spád.
$\Delta \vartheta^s$	°C	Skutečný teplotní spád u spotřebitele.
$\Delta \vartheta_{RT(i)}^{kvalkorII}$	°C	Kvalitativní korekce na teplotěnském výměníku.
u_1	°C	Akční veličina kvalitativního řízení.
u_2	kg/s	Akční veličina kvantitativního řízení.
ΔM_v	kg/s	Korekce hmotnostního toku vody.
M_v^s	kg/s	Skutečný hmotnostní tok vody.
M_v	kg/s	Hmotnostní tok vody.
$M_{v,max}$	kg/s	Maximální hmotnostní tok vody.
M_p	kg/s	Hmotnostní tok páry.
M_{VSP}	kg/s	Hmotnostní tok vody v přívodní části potrubí u spotřebitele.
ρ	kg/m ³	Hustota.
ρ_v	kg/m ³	Hustota oběhové vody.
DDDT	W	Denní diagram dodávky tepla.
P_T^s	W	Skutečný tepelný výkon.

P_T^p	W	Předpokládaný tepelný výkon.
P_T^{DoD}	W	Dodaný tepelný výkon.
P_T	W	Tepelný výkon horkovodu.
ΔP_T	W	Diference předpokládaného a skutečně odebíraného výkonu.
$\Delta P_{T,RT(i)}^{kvalkorII}$	W	Diference předpokládaného a skutečně odebíraného výkonu v čase RT.
$\Delta Q(i)^{kvalkorII}$	W	Korekce na udržení tepelného obsahu v přívodním potrubí horkovodu.
Δp	Pa	Dopravní tlak čerpadla.
RT	s	Reální čas.
T_1, T_2, T_3	s	Časové kapacity setrvačných členů řízeného systému.
T_1', T_2'	s	Časové konstanty setrvačnosti měniče otáček.
T_3'	s	Doba rozběhu potrubí.
T	s	Čas, ve kterém se projeví působení akční veličiny u spotřebitelů.
T_d	s	Dopravní zpoždění.
$T_{d(i)}^p$	s	Předpokládané dopravní zpoždění.
T_{prech}	s	Doba přechodu teplotního výměníku.
T_{vz}	s	Perioda vzorkování.
H_{max}	m	Dopravní výška čerpadla.
h_k	m	Svislá výška mezi koncovým a počátečním bodem potrubí.
a	m	Dopravní výška čerpadla při nulovém průtoku.
l	m	Délka sledovaného úseku potrubí.
i	min	Krok T.
j	min	Krok RT.

n	ot/min	Otáčky.
k^{kval}		Zesílení řízeného systému v kvalitativní části.
k^{kvant}		Zesílení řízeného systému v kvantitativní části.
S	m^2	Průřez potrubí přívodní větve.
g	m/s^2	Gravitační zrychlení.
c_{max}	m/s	Rychlost, kterou voda potřebuje, aby nabyla maximálního hmotnostního toku.
c	J/kgK	Měrná tepelná kapacita vody.
Y	J/kg	Měrná energie.
Q	m^3/s	Objemový tok.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Typické průběhy denních spotřeb tepla pro různé typy odběratelů	11
Obr. 2 Principiální schéma horkovodu	14
Obr. 3 Algoritmus kvalitativně-quantitativního řízení dodávky tepla horkovodem.....	21
Obr. 4 Q-Y charakteristika dopravního čerpadla.....	24
Obr. 5 Schéma algoritmu kvalitativně-quantitativního způsobu řízení včetně kvalitativní korekce II	26
Obr. 6 Závislost dopravního zpoždění na hmotnostním toku.....	27
Obr. 7 Předpokládaný denní diagram dodávky tepla.....	28
Obr. 8 Postup výpočtu predikce metodou superpozice modelů.....	36
Obr. 9 MATLAB Desktop - intuitivní rozhraní konfigurovatelné dle požadavků uživatele	45
Obr. 10 SIMULINK - model spalovacího motoru.....	46
Obr. 11 Hlavní dialogové okno programu	49
Obr. 12 Vstupní data	50
Obr. 13 Dialogové okno programu s výběrem metody predikce.....	51
Obr. 14 Dialogové okno programu s výběrem nastavení simulace	52
Obr. 15 Nastavení parametrů simulace.....	53
Obr. 16 Nabídka vykreslení grafů.....	54
Obr. 17 Hlavní simulační schéma.....	55
Obr. 18 Blok řídicí algoritmus.....	56
Obr. 19 Blok horkovodní kotle	57
Obr. 20 Blok čerpadla a měniče otáček	59
Obr. 21 Blok výpočtu teploty ve zpětné větvi	60
Obr. 22 Síť spotřebitelů	61
Obr. 23 Blok výpočtu skutečného výkonu.....	65

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Nastavení regulátorů.....	40
Tabulka 2 Koeficienty pro překmit k	40
Tabulka 3 Nastavení PID regulátoru	43

SEZNAM PŘÍLOH

P1: CD s programem: Simulace řízení tepelného výkonu horkovodu s předpovědí DDDT.