

EKONOMIČNO VODENJE SISTEMOV DALJINSKEGA OGREVANJA

JOŽE TORKAR, BLAŽENKA POSPIŠ PERPAR
El-tec Mulej, d.o.o., Pot na Lisice 7, 4260 Bled, Slovenija

DARKO GORIČANEC, JURIJ KROPE
Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, University of Maribor, Smetanova ul. 17,
2000 Maribor, Slovenija

Povzetek: Prispevek obravnava način nadzora in vodenja sistema daljinskega ogrevanja z namenom zagotavljanja ekonomske uspešnosti. Zanesljiva oskrba z ogrevalno toploto iz sistemov daljinskega ogrevanja je pogojena z brezhibnim stabilnim delovanjem, ekonomska uspešnost pa tudi s kakovostnim nadzorom in krmiljenjem sistemov. Tako pri načrtovanju kot tudi pri vodenju, nadzoru ter vzdrževanju ogrevalnih sistemov je potrebno upoštevati vključevanje različnih virov energije glede na napoved rabe energije in ekonomski optimum. Za ekonomično vodenje energetskega sistema morajo biti sprejeti najprimernejši krmilni ukrepi, ki zahtevajo modeliranje in napovedovanje stanja sistema v prihodnosti. Prikazan je eden od možnih pristopov k racionalizaciji proizvodnje in distribucije toplote.

Ključne besede: daljinsko ogrevanje, cevne mreže, napovedovanje rabe toplote, modeliranje sistemov, ekonomska proizvodnja, distribucija toplote

1 Uvod

Ekonomično vodenje kompleksnih sistemov **daljinskega ogrevanja** (DO) zajema racionalizacijo delovanja vseh komponent, ki so udeležene v procesu proizvodnje in distribucije **toplote**. V prispevku je opisan eden od možnih pristopov k ekonomičnem vodenju sistemov **daljinskega ogrevanja**. Vodenje se izvaja na podlagi določitve najprimernejše dovodne temperature v sistem, optimalnih pretočno – tlačnih razmer v cevni mreži ter optimalne proizvodnje **toplote** v bližnji prihodnosti (od nekaj ur do nekaj dni vnaprej).

Osnova ekonomičnega vodenja je natančno poznavanje proizvodnih in distribucijskih kapacitet ter prihodnjih odjemov **toplote** iz energetskega sistema. Cilj vodenja je kakovostno zadovoljevanje potreb odjemalcev pri čim nižjih variabilnih stroških proizvodnje in distribucije **toplote**. Ekonomično vodenje zahteva kakovostno napoved prihodnjih odjemov **toplote** ter oceno rizika preseganja mejnih vrednosti **toplotnega** odjema v prihodnosti. Za napoved zahtevanih spremenljivk uporabljamo programski paket INTELPRED [1], [2], [3]. Izračunane vrednosti nato posredujemo ekonomskemu modulu, ki določa ekonomsko najprimernejši profil proizvodnje **toplote** $f(\Phi(t))$, temperature dovoda $f(T_d(t))$ in temperature povratka $f(T_p(t))$ ob upoštevanju pripadajočih robnih pogojev.

2 Modeliranje sistema daljinskega ogrevanja

Sistem **daljinskega ogrevanja** lahko razdelimo na tri osnovne gradnike: odjemna mesta, toplovodna mreža in proizvodni viri. Za doseganje optimalnih rezultatov je potrebno dobro poznavanje delovanja vseh gradnikov sistema in njihove medsebojne povezanosti.

2.1 Odjemna mesta

Kakovost delovanja **toplotne** postaje in izmenjava podatkov z nadzornim centrom lahko v veliki meri vpliva na racionalizacijo delovanja celotnega sistema **daljinskega ogrevanja**.

2.1.1 Model toplotnega toka odjemnih mest

Odjemna mesta lahko glede na odjemalce **toplote** razdelimo v tri glavne skupine:

- stanovanjski odjem,
- poslovni odjem,
- industrijski odjem.

Tri glavne skupine odjemnih mest lahko glede na značilnosti odjema razdelimo v j kategorij. Vsaka kategorija ima i odjemnih mest, iz katerih lahko podatke o obratovalnih stanjih pridobimo preko sistema **daljinskega** nadzora in upravljanja. Odjemna mesta kategorije j , iz katerih ne moremo pridobiti podatkov, popišemo s faktorjem p . Faktor p izračunamo kot razmerje med toplotnim tokom vseh odjemnih mest kategorije j in odjemnih mest kategorije j na sistemu **daljinskega** nadzora in upravljanja [4]. Matematični model toplotnega toka odjemnih mest lahko zapišemo kot:

$$\Phi_{od} = \sum_{j=1}^K \left(\sum_{i=1}^N \Phi_i \right) \cdot p_j \quad (1)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, N, \quad j = 1, 2, 3, \dots, K$$

Podatki o toplotnem toku odjema v sistemu **daljinskega ogrevanja**, skupaj z vremenskimi podatki in tipom dneva, se zapisujejo v bazo podatkov v intervalu 15 minut.

2.1.2 Napovedovanje toplotnega toka odjemnih mest

Za napovedovanje odjema **toplote** uporabljamo programski paket INTELPRED. Le-ta omogoča napovedovanje rabe energije v vseh vrstah **daljinskih** energetskega sistema. Osnovan je na metodah simuliranih nevronske mreže in genetskih algoritmov. INTELPRED na osnovi razpoložljivih podatkov o delovanju izbranega **daljinskega** energetskega sistema izdelava model delovanja in odzivanja sistema na krmilne ukrepe. Pri tem določi povezave med vrednostmi posameznih okoljskih spremenljivk (vremenski podatki, tip dneva) in rabo **toplote** v sistemu. Program napove delovanje sistema v prihodnosti ter oceni riziko presega izbranih mejnih vrednosti rabe **toplote** v prihodnosti na osnovi poznavanja trenutnega stanja sistema ter podanih predvidenih prihodnjih vrednosti nekaterih okoljskih spremenljivk. Izračunane napovedi in riziko presega izbranih vrednosti rabe **toplote** v prihodnosti so osnova za določevanje ekonomsko najprimernejšega krmiljenja energetskega sistema.

Rezultat napovedi je funkcija toplotnega toka odjema v odvisnosti od časa $f(\Phi_{od}(\tau))$. Minimalna temperatura v dovodu T_{dt} in maksimalna temperatura povratka toplovodnega omrežja T_{pt} , odvisni od zunanje temperature, sta določeni s tehničnimi pogoji dobavitelja **toplote**. Ob upoštevanju napovedi zunanje temperature T_z v odvisnosti od časa lahko definiramo funkciji $f(T_{dt}(\tau))$ in $f(T_{pt}(\tau))$. Na osnovi navedenih funkcij lahko izračunamo funkcijo prostorninskega pretoka $f(q_{vr}(\tau))$ (v skladu s tehničnimi pogoji).

2.2 Toplovodna mreža

Toplovodne mreže so praviloma kompleksne cevne mreže, sestavljene iz mnogo ravnih odsekov, cevni razcepov ali cevni krogov. Namenski programski paketi omogočajo statično hidravlično analizo različnih tipov cevni mreže [5]. Pridobljeni podatki so ključnega pomena za dimenzioniranje toplovodne mreže, določitev optimalne konfiguracije črpališč, ugotavljanje kritičnih točk v sistemu in ugotavljanje možnosti širjenja odjema [6], [7], [8]. Za potrebe optimalnega vodenja obratovanja sistema je potrebno modele cevni mreže poenostaviti z združevanjem v posamezne sklope. Model cevne mreže lahko z združevanjem poenostavimo za 80-95% brez izgube točnosti modela. Pomembno je, da se pri tem ohranijo lastnosti cevne mreže, kot so: volumen medija v cevni mreži, časovni zamiki, prostorninski pretok, toplotne izgube in tlačne razmere. Poenostavljeni model se mora s primerno točnostjo ujemanjati z realnim modelom predvsem glede tlačnih razmer in dinamike transporta **toplote**.

2.2.1 Model toplotnega toka distribucije toplote

V prispevku obravnavamo možnost akumuliranja **toplote** v toplovodni mreži zaradi optimiranja proizvodnje in distribucije **toplote**. Matematični model toplotnega toka distribucije **toplote** na pragu vira **toplote** lahko zapišemo kot:

$$\Phi_{ds} = \Phi_{od} + \Phi_{izg} + \Phi_{akm} + \Phi_{izgakm} + \Phi_{aka} + \Phi_{izgaka} \quad (2)$$

2.2.2 Model korigiranega toplotnega toka odjemnih mest

V matematičnem modelu korigiranega toplotnega toka odjemnih mest upoštevamo časovno zakasnitev distribucije **toplote** τ_K (od vira **toplote** do zadnjega odjemnega mesta) v odvisnosti od prostorninskega pretoka $\tau_K = f(q_{vt})$. Le-to lahko določimo:

- s simulacijo različnih obratovalnih stanj sistema v sistemu za hidravlično analizo cevnih mrež,
- z meritvami časovnih zakasnitev v različnih obratovalnih stanjih.

Funkcije temperature v dovodu T_{dt} in temperature v povratku T_{pt} nato korigiramo s časovno zakasnitvijo in dobimo korigirani funkciji temperature v dovodu $f(T_{dt}(\tau + \tau_K))$ in temperature v povratku $f(T_{pt}(\tau + \tau_K))$ primarja.

Na osnovi zgornjih funkcij lahko izračunamo korigirano funkcijo prostorninskega pretoka v odvisnosti od časa $f(q_{vt}(\tau + \tau_K))$.

Spremembe časovne zakasnitve zaradi korigiranega prostorninskega pretoka so zelo majhne in jih lahko zanemarimo. Prostorninski pretok v odvisnosti od izbrane temperature v dovodu T_d in od temperature v povratku T_p toplovodne mreže izrazimo kot:

$$q_v = \frac{T_{dt} - T_{pt}}{T_d - T_p} \cdot q_{vt} \quad (3)$$

Enačbo toplotnega toka odjemnih mest zapišemo kot:

$$\Phi_{od} = q_v \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_d - T_p) \quad (4)$$

2.2.3 Model toplotnega toka toplotnih izgub v cevni mreži

V tem modelu je upoštevana distribucija tople vode po dvocevni toplovodni mreži. Toplotne izgube lahko razdelimo na izgube v dovodni in v povratni cevi. Pri izračunu toplotnih izgub je potrebno upoštevati vplive povratnega cevovoda na izgube v dovodu in obratno.

Specifične toplotne izgube na dolžinsko enoto λ so odvisne od izvedbe cevne mreže:

- predizolirane cevi vkopane direktno v zemljo,
- cevi položene v kinetah,
- zunanji cevovodi.

Matematični model toplotnega toka zaradi toplotnih izgub pri T_{dt} in T_{pt} za predizolirane cevi vkopane direktno v zemljo in cevi položene v kinetah, poenostavljeno izrazimo kot:

$$\Phi_{izg} = L \cdot \lambda \cdot (T_{dt} + T_{pt} - 2 \cdot T_{ze}) \quad (5)$$

Matematični model toplotnega toka zaradi toplotnih izgub pri T_{dt} in T_{pt} za zunanje cevovode, poenostavljeno izrazimo kot:

$$\Phi_{izg} = L \cdot \lambda \cdot (T_{dt} + T_{pt} - 2 \cdot T_z) \quad (6)$$

Specifične toplotne izgube na dolžinsko enoto λ za posamezno toplovodno omrežje lahko določimo:

- iz podatkov proizvajalca cevi z upoštevanjem dimenzij in kvalitete izolacije posameznih cevskih odsekov,
- z meritvami in izračuni na osnovi podatkov o proizvedeni in prodani **toploti** v večletnem obdobju.

2.2.4 Model toplotnega toka akumulacije toplote cevni mreži

Za potrebe akumulacije **toplote** v cevni mreži pri majhnem odjemu v toplovodni mreži na primernih mestih vgradimo kratko vez, ki omogoča prostorninski pretok $q_{v,bp}$. Odprtost kratke vezi se regulira preko sistema **daljinskega nadzora** in upravljanja v odvisnosti od potrebe po akumulaciji **toplote**. Akumulacijo **toplote** v toplovodni mreži lahko izrazimo za dovodni in povratni vod skupaj:

$$\Phi_{akm} = q_{v,bp} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_d + T_p - T_{dt} - T_{pt}) \quad (7)$$

2.2.5 Model toplotnega toka toplotnih izgub zaradi akumulacije toplote v cevni mreži

Toplotne izgube zaradi akumulacije **toplote** v toplovodni mreži lahko izrazimo za dovodni in povratni vod skupaj:

$$\Phi_{izgakm} = L \cdot \lambda \cdot (T_d + T_p - T_{dt} - T_{pt}) \quad (8)$$

2.2.6 Model toplotnega toka akumulacije toplote v akumulatorju toplote

Akumulator **toplote** je jeklena valjasta posoda z določenim premerom in višino. Namen akumulatorja je shranjevanje odvečne **toplote**, ko je odjem **toplote** manjši od proizvodnje in vračanje shranjene **toplote** v sistem **daljinskega ogrevanja**, ko je proizvodnja manjša od odjema **toplote**. Akumulator lahko koristno uporabljamo za optimizacijo različnih obratovalnih režimov. Najpomembnejša sta dva:

- raba akumulirane **toplote** za povečanje proizvodnje elektrike v času električne konice,
- raba akumulirane **toplote** za pokrivanje nihajoče porabe **toplote** v sistemu **daljinskega ogrevanja**.

Toplotni tok polnjenja oz. praznjenja je odvisen od pretoka in temperaturne razlike vode v hladni in topli cevi, kar je razvidno iz modela toplotnega toka akumulacije **toplote** v akumulatorju **toplote**:

$$\Phi_{aka} = q_a \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_a - T_p) \quad (9)$$

2.2.7 Model toplotnega toka toplotnih izgub zaradi akumulacije toplote v akumulatorju toplote

Toplotne izgube zaradi akumulacije **toplote** v akumulatorju **toplote** lahko izrazimo kot:

$$\Phi_{izgaka} = A_a \cdot k_a \cdot (T_a - T_z) \quad (10)$$

2.3 Proizvodni viri

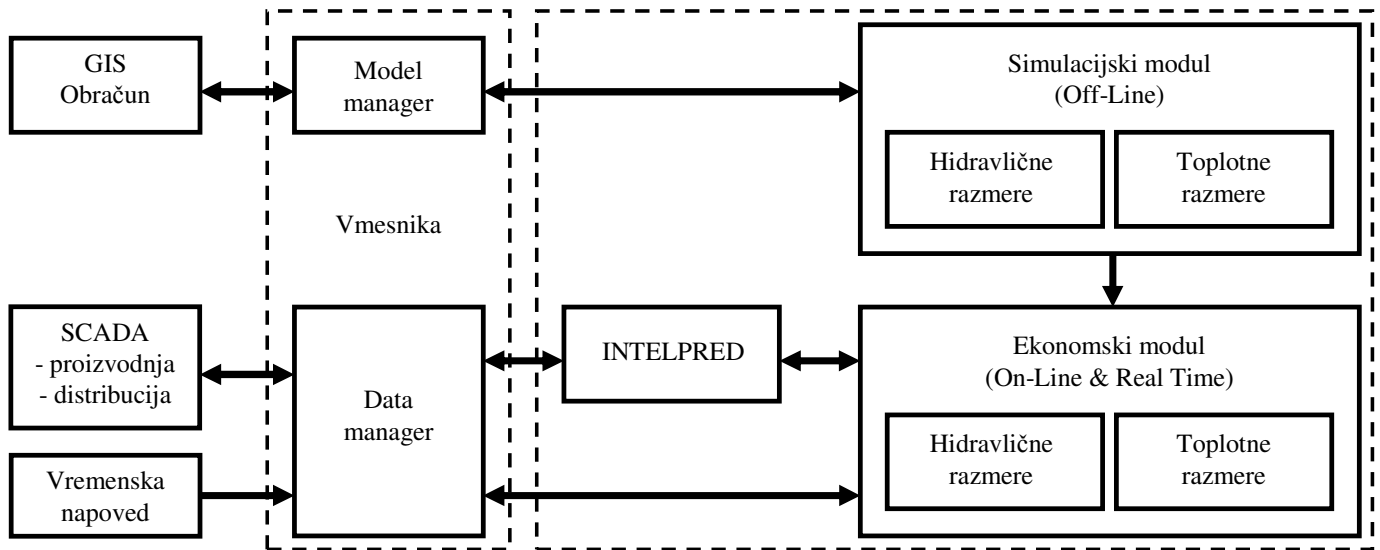
Toplota se lahko proizvaja namensko ali v soproizvodnji z električno energijo (SPTE). V vseh primerih pa je pomembno, da je vodenje proizvodnje energije optimalno glede na doseganje dobička ob zagotavljanju vseh tehničnih robnih pogojev. Cilj optimalnega krmiljenja proizvodnje je proizvesti čimveč **toplote** iz cenejših in okolju prijaznejših virov. Za doseg tega cilja sta izrednega pomena:

- pravilna izbira konfiguracije proizvodnih virov ob načrtovanju gradnje z upoštevanjem urnega profila odjema **toplote** v toplovodnem omrežju,
- izdelava optimalnega načrta proizvodnje energije glede na kakovostno kratkoročno in dolgoročno napoved odjema **toplote**.

Model toplotnega toka proizvodnje **toplote** lahko zapišemo kot vsoto vseh proizvodnih virov :

$$\Phi_{pr} = \sum_{i=1}^n \Phi_{pri} \quad (11)$$

3 Ekonomično vodenje proizvodnje in distribucije toplote



Slika 1: Struktura sistema za ekonomično vodenje proizvodnje in distribucije **toplote**

Za potrebe ekonomičnega vodenja proizvodnje in distribucije **toplote** potrebujemo dobro organiziran podatkovni tok. Osnova za doseganje kvalitetnih rezultatov je urejen GIS sistem. Za izmenjavo vseh potrebnih podatkov skrbita dva vmesnika.

Model Manager skrbi za izmenjavo podatkov in modelov med službama za vzdrževanje GIS sistema in obračun ter službo za načrtovanje. Služba za načrtovanje pri svojem delu uporablja statične hidravlične in termične modele.

Data Manager skrbi za izmenjavo procesnih podatkov o stanju proizvodnje, **distribucije toplote** in vremenskih napovedi s službama za operativno vodenje proizvodnje in **distribucije toplote**. Službi pri svojem delu uporabljata orodja, ki jim omogočajo dinamičen izračun (On-Line in Real Time) krmilnih parametrov, s katerimi se doseže stroškovni minimum ob zagotavljanju ustrezne kvalitete dobave **toplote**.

3.1.1 Načini racionalizacije obratovanja odjemnih mest

Za doseganje optimalnih parametrov delovanja toplotne postaje je odločilno pravilno načrtovanje, izvedba in reguliranje sekundarnega sistema ter elementov odjemnega mesta, katerega srce predstavlja elektronski regulator. Nekatero pomembno funkcije, ki jih mora lokalno zagotavljati elektronski regulator **daljinskega ogrevanja**, so:

- nastavitev vsaj tritočkovne ogrevalne karakteristike za natančen popis karakteristike objekta,
- nastavitev različnih vzporednih premikov v različnih ogrevalnih obdobjih,
- referenčna stopnica za prehod iz reduciranega v normalni način ogrevanja,
- referenčna stopnica za prehod iz normalnega v reducirani način ogrevanja,
- izračun kompenzirane zunanje temperature,
- izračun faktorja učinkovitosti toplotne postaje na dnevnem, mesečnem in letnem nivoju,
- omejevanje maksimalne temperature v povratku primarja,
- omejevanje maksimalne priključne moči,
- omejevanje maksimalnega pretoka.

Faktor učinkovitosti odjemnega mesta omogoča hitro odkrivanje odjemnih mest v sistemu **daljinskega ogrevanja**, kjer se lahko z določenimi posegi v primarni ali sekundarni del izboljša njegovo delovanje.

Podatki, potrebni za optimalno vodenje sistema, ki jih mora elektronski regulator posredovati v nadzorni center:

- referenčna in dejanska temperatura v dovodu sekundarja,
- temperatura v dovodu in povratku primarja,
- trenutna moč,
- trenutni pretok,
- kumulativna raba energije v želenem obdobju,
- kumulativni pretok v želenem obdobju,
- tlaki na dovodu in povratku primarja.

V praksi je potrebno uporabnike s stimulativnimi tarifnimi pogoji motivirati k izvedbi ukrepov, ki omogočajo:

- doseganje čim nižjih povratnih temperatur T_{pt} ,
- uporabo čim nižjih dovodnih temperatur T_{dt} ,
- uporabo ali akumulacijo **toplote** v časovnih obdobjih ugodnih za proizvajalca **toplote**.

3.1.2 Načini racionalizacije obratovanja toplovodne mreže

Racionalizacijo obratovanja toplovodne mreže lahko razdelimo v tri dele:

- ekonomično vodenje črpališč,
- zmanjševanje toplotnih izgub v povratku toplovodne mreže.
- zmanjševanje toplotnih izgub v dovodu toplovodne mreže.

Modul za ekonomično vodenje črpališč na podlagi on-line podatkov o stanju toplovodne mreže izračunava optimalne nastavitve črpalk. S statično hidravlično analizo se določijo kritične točke v toplovodni mreži, iz katerih se preko SCADA sistema podatki posredujejo v center vodenja. Predprocesiranje podatkov se izvede v modulu Data Manager, kjer se izvede substitucija vseh napačnih ali manjkajočih podatkov. Iz Data Managerja se podatki prenesejo v modul za ekonomično vodenje črpališč. V njem se upoštevajo robni pogoji (tlak, diferenčni tlak, pretok, temperature, ...) v povezavi s stroški elektrike. Modul vsakih 5 minut izračuna najcenejšo možnost obratovanja črpališč in posreduje izračunane nastavitvene točke v SCADA sistem, od koder poteka krmiljenje črpalk.

Toplotne izgube na povratku toplovodne mreže lahko zmanjšamo s stimuliranjem uporabnikov k doseganju čim nižjih temperatur na povratku sekundarnega dela odjemnih mest.

Toplotne izgube na dovodu toplovodne mreže lahko zmanjšamo z uvedbo modula za izbiro optimalne temperature v dovodu T_{dt} . Za izvedbo regulacije optimalne temperature v dovodu je ključnega pomena dobro poznavanje karakteristik odjema končnih odjemalcev v odvisnosti od različnih temperatur v dovodu. Potrebno je upoštevati čas, ki je potreben, da topla voda doseže končno odjemno mesto in bodoče vremenske razmere (temperatura, veter, ...), ki jih obravnavamo od nekaj ur do nekaj dni vnaprej. Alarmi in obvestila na kritičnih odjemnih mestih operaterja vnaprej opozorijo na to, ali je trenutna temperatura v dovodu prenizka (pritožbe odjemalcev), ali previsoka (povečanje povratne temperature). V bistvu se za določitev optimalne temperature v dovodu uporablja nekaj nadzornih parametrov: nadzor temperature v nekaj točkah in nadzor volumskega toka. Regulacija temperature v dovodu zagotavlja, da je temperatura v dovodu v toplovodno omrežje dovolj visoka, da zadosti potrebam vseh odjemnih mest. V praksi je potrebno obravnavati le omejeno število t.i. kritičnih odjemnih mest.

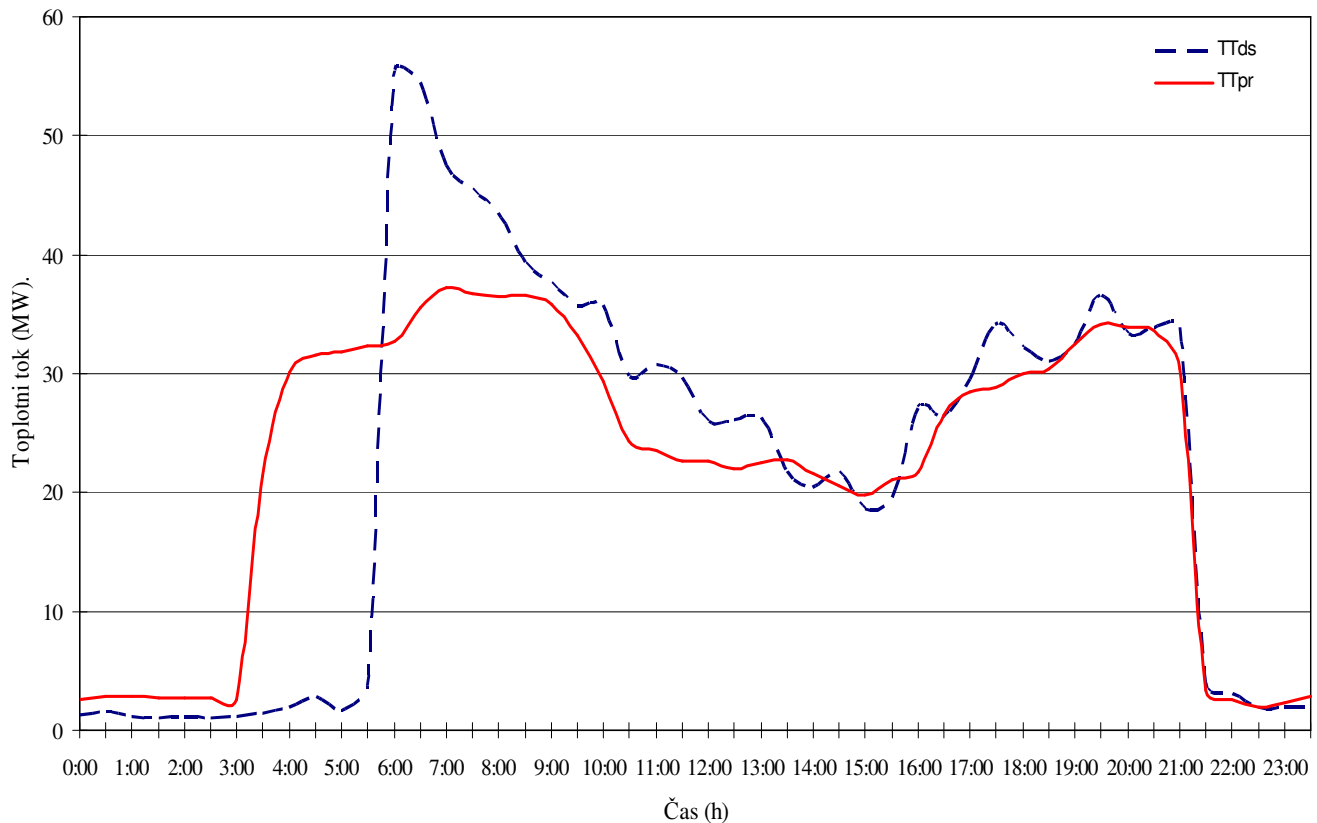
Za regulacijo volumskega toka uporabljamo napovedani toplotni tok in znanje o maksimalnem volumskem toku v toplovodni mreži. Nato izračunamo najnižji možni temperaturni profil ob zagotavljanju zadostne dobave **toplote** v sistem.

3.2 Simulacijski modul

Osnova ekonomične proizvodnje in distribucije **toplote** na osnovi znanega odjema v prihodnosti je ravnotežna enačba med modelom toplotnega toka proizvodnje **toplote** (11) in modelom toplotnega toka distribucije **toplote** (2) v poljubnem časovnem obdobju ob upoštevanju vseh robnih pogojev:

$$\sum_{j=1}^m \Phi_{prj} \cdot t_j = \sum_{j=1}^m \Phi_{dsj} \cdot t_j$$

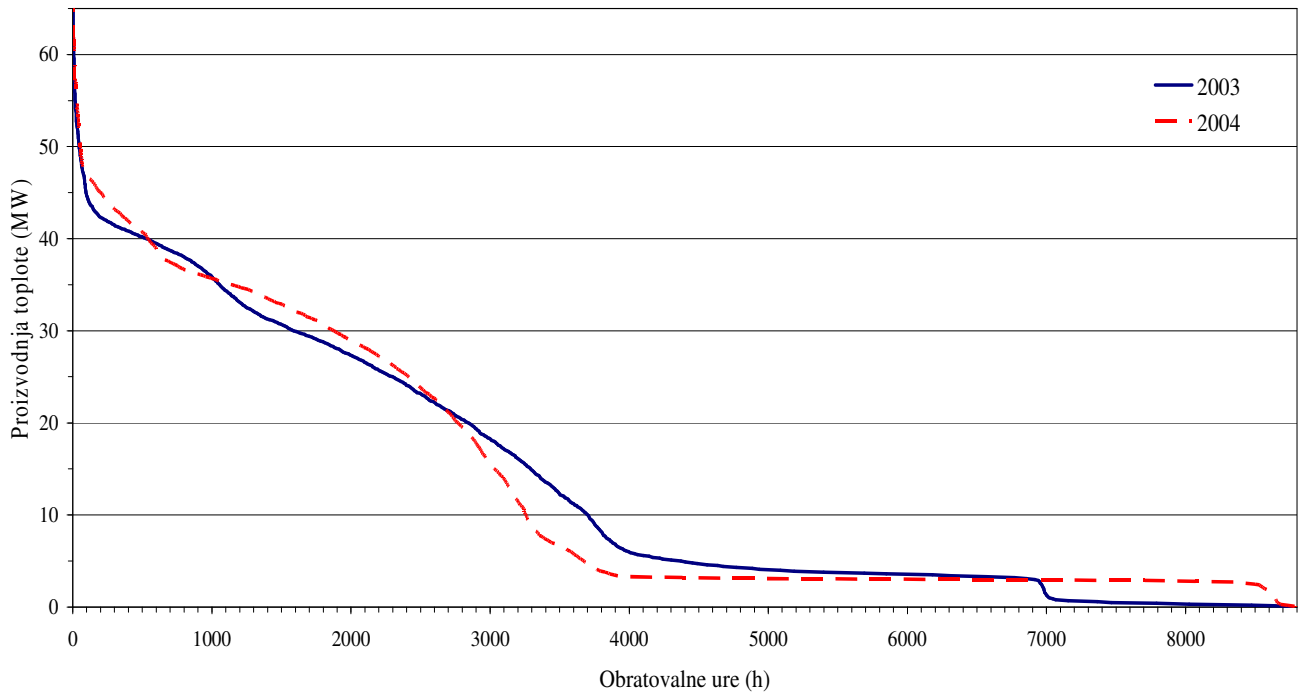
(12)



Slika 2: Primer ekonomičnega vodenja proizvodnje in distribucije **toplote** v TOM

Na sliki 2 je prikazan dnevni profil toplotnega toka proizvodnje **toplote** (polna črta) in dnevni profil toplotnega toka odjema (črčkana črta). Iz slike je razviden princip akumulacije **toplote** v cevni mreži, da bi se izognili zagonu tretjega vira **toplote**. Podoben princip se uporablja tudi za izogib zagona drugega kotla v letnem načinu obratovanja.

Na sliki 3 je prikazan urni odjem **toplote** v omrežju TOM. Prekinjena črta prikazuje urejen urni diagram proizvodnje **toplote** v letu 2004, polna črta pa prikazuje urejen urni diagram proizvodnje **toplote** v letu 2003. Iz slike 3 je razvidno, da se je **toplota** do potrebnega toplotnega toka odjema 6,5 MW v primerjavi z letom 2003 proizvajala iz cenejšega vira.



Slika 3: Urejen urni diagram toplotnega toka proizvodnje **toplote** v omrežju TOM

Tak rezultat je bil dosežen z izbiro primerne postrojenja za soproizvodnjo toplotne in električne energije (plinski motor SPTE: $P_{el}=3$ MW, $\Phi_{t,h}=3$ MW) in akumulacijo presežnih kapacitet **toplote** v cevni mreži. Prihranek zaradi načina vodenja proizvodnje in **distribucije toplote** z akumulacijo v cevni mreži predstavlja razlika v ceni energije proizvedene v območju 7000-8760 ur v letu 2004 zmanjšana za strošek toplotnih izgub zaradi akumulacije.

3.3 Ekonomski modul

Z numerično simulacijo ravnotežne enačbe (12) ob upoštevanju vseh robnih pogojev simuliramo možne krmilne ukrepe za proizvodnjo in distribucijo energije v obdobju 24 ur. Izberemo tisto časovno kombinacijo krmilnih ukrepov, ki zagotavlja maksimum funkcije variabilnega dela dobička v izbranem časovnem obdobju:

$$C(t) = C_{ds}(t) - C_{pr}(t) \quad (13)$$

Variabilne prihodke zaradi **distribucije toplote** lahko zapišemo kot:

$$C_{ds} = \sum_{j=1}^m (\Phi_{odj} \cdot c_P + (-\Phi_{izgj} \pm \Phi_{akmj} - \Phi_{izgakmj} \pm \Phi_{akaj} - \Phi_{izgakaj}) \cdot c_L) \cdot t_j \quad (14)$$

Variabilne odhodke zaradi **proizvodnje toplote** lahko zapišemo kot:

$$C_{pr} = \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n \Phi_{pri} \cdot c_{pri} \right) \cdot t_j \quad (15)$$

4 Zaključek

Odjemalci zahtevajo vedno boljše in cenejše storitve. Tržišče različnih energentov je odprto ali v fazi odpiranja. Proizvajalci in distributerji **toplote** morajo biti vedno bolj konkurenčni, kar lahko dosežejo z večjo učinkovitostjo in prilagodljivostjo. Želen donos lastnikov na vloženi kapital lahko dosežejo z organizacijskimi ukrepi in znižanjem stroškov proizvodnje ter **distribucije toplote**.

Z opisanim načinom ekonomične proizvodnje in **distribucije toplote** se lahko dosega najvišji prihranki v:

- sistemih, kjer se **toplota** proizvaja iz več virov z uporabo različnih vrst goriva,
- sistemih, kjer je zagotovljen pasovni odjem elektrike iz sistemov soproizvodnje **toplote** in elektrike.

Učinkovito lahko zmanjšujemo konice toplotnega toka proizvodnje **toplote**, kar pri gradnji novih ali obnovi obstoječih proizvodnih virov pomeni prihrankov pri investiciji v proizvodne vire za pokrivanje le-teh.

V kombinaciji z dinamično kontrolo tlačnih razmer v cevni mreži imamo v načrtu razvoj sistema za ekonomično vodenje črpališč.

Skupno razvojno delo s Fakulteto za strojništvo v Ljubljani in Fakulteto za kemijo in kemijsko tehnologijo, laboratorij za termotehniko v Mariboru je že dve leti usmerjeno v razvoj izdelkov in storitev za ekonomično vodenje proizvodnje in distribucije **toplote**. Rezultat tega je programski paket za nadzor in upravljanje odjemnih mest, programski paket za izdelavo napovedi odjema **toplote** za kratkoročno in dolgoročno obdobje ter programski paket za izračun maksimuma variabilnega dela dobička ter določitve časovnega poteka krmilnih ukrepov, ob zagotavljanju stabilnosti obratovanja sistema.

V sodelovanju s TOM se vsa operativna testiranja posameznih modulov sistema opravljajo na sistemu **daljinskega ogrevanja** srednje velikosti ($\Phi_{pr} = 94$ MW). Operativna testiranja programskega paketa za nadzor in upravljanje odjemnih mest ter programskega paketa za izdelavo napovedi odjema **toplote** za kratkoročno in dolgoročno obdobje so zaključena. Do konca leta 2005 predvidevamo zaključek razvoja 1. faze programskega paketa za izračun maksimuma variabilnega dela dobička ter določitve časovnega poteka krmilnih ukrepov. V ogrevalni sezoni 2006/07 je planiran začetek komercialne rabe celotnega sistema ekonomičnega proizvodnje in distribucije **toplote**.

Seznam kratic

Arabske črke

A_a	površina akumulatorja toplote (m^2)
C_L	variabilni del lastne cene toplote (EUR/J)
C_p	specifična toplotna kapaciteta (J/kgK)
C_P	variabilni del prodajne cene toplote (EUR/J)
C_{pr}	variabilni del odhodkov proizvodnje toplote i-tega vira (EUR/J)
C_{ds}	variabilni prihodki od distribucije toplote (EUR)
C_{pr}	variabilni odhodki zaradi proizvodnje toplote (EUR)
k_a	toplotna prehodnost akumulatorja toplote (W/m^2K)
K	število kategorij značilnosti odjema j
L	dolžina trase toplovodne mreže (m)
m	število časovnih intervalov
n	število proizvodnih virov
N	število odjemnih mest kategorije j
p	faktor daljinskega nadzora kategorije j
q_v	prostorninski pretok ob T_d in T_p (m^3/s)
$q_{v,bp}$	prostorninski pretok skozi by-pass (m^3/s)
q_{vt}	prostorninski pretok ob T_{dt} in T_{pt} (m^3/s)
t	časovni interval (s)
t_K	časovna zakasnitev distribucije toplote (s)
T_a	temperatura vode v akumulatorju toplote (K)
T_d	izbrana temperatura v dovodu (K)
T_{dt}	minimalna temperatura v dovodu (K)
T_p	izbrana temperatura v povratku (K)
T_{pt}	maksimalna temperatura v povratku (K)
T_z	zunanja temperatura (K)

T_{ze} temperatura zemlje na globini 1 m (K)

Grške črke

Φ_{ak} toplotni tok akumulacije toplote (W)

Φ_{ds} toplotni tok distribucije na pragu vira (W)

Φ_{izg} toplotni tok toplotnih izgub v toplovodni mreži (W)

Φ_{akm} toplotni tok akumulacije v toplovodni mreži (W)

Φ_{izgakm} toplotni tok toplotnih izgub zaradi akumulacije v toplovodni mreži (W)

Φ_{aka} toplotni tok akumulacije v akumulatorju toplote (W)

Φ_{izgaka} toplotni tok toplotnih izgub zaradi akumulacije v akumulatorju **toplote** (W)

Φ_{od} toplotni tok odjemnih mest (W)

Φ_{pr} toplotni tok proizvodnje **toplote** (W)

λ specifične toplotne izgube na dolžinsko enoto (W/mK)

ρ gostota (kg/m^3)

τ časovni interval (s)

τ_K časovna zakasnitev distribucije **toplote** (s)

Reference:

- [1] M. Thaler, A. Poredoš, I. Grabec, Empirical model for prediction of gas consumption and other types of energy, *VII proceedings SDDE*, Portorož, March 2004, pp. 131-140
- [2] M. Thaler, I. Grabec, A. Poredoš, "Prediction of energy consumption and risk of excess demand in a distribution system"; *First Bonzenfreies Colloquium on Market Dynamics and Quantitative Economics*, Alessandria 2004, Italija <http://www.mfn.unipmn.it/~colloqui/session1.html>
- [3] I. Grabec, W. Sachse, Synergetics of Measurement, Prediction and Control, Berlin, *Springer-Verlag*, 1997
- [4] M. Thaler, A. Poredoš, I. Grabec, J. Torkar, Prediction of energy consumption as the basis of district energy distribution system control, *VIII proceedings SDDE*, Portorož, March 2005, pp. 117-124
- [5] D. Goričanec, A. Jakl, J. Krope & V. Krajnc, A Software Tool for Pressure-Flow Analysis of Conditions in Pipe Networks, *Journal of Mechanical Engineering*, 44 (3/4), 1998, pp 129-136
- [6] J. Krope, D. Goričanec: Analysis of Pipe Networks Including Pumps, *Energy build.*, 17, 1991, pp. 141-145.
- [7] A. Krope, J. Krope & D. Goričanec, Optimization of Transport Pipe Networks, *Proceedings of the IASTED International Conference: High Technology in the Power Industry*, IASTED: Orlando, 1997, pp. 277-282.
- [8] D. Goričanec, J. Krope, Ž. Knez. Drag reduction in district heating networks with surfactant additives. *WSEAS Trans. Circuits*, Oct. 2004, Vol. 3, iss. 8, pp. 1682-1687