

EKONOMIČNO VODENJE KOMPLEKSNIH SISTEMOV DALJINSKEGA OGREVANJA

ECONOMICAL MANAGING OF THE COMPLEX DISTRICT HEATING SYSTEMS

Jože Torkar, Marko Thaler*, Alojz Poredoš*, Igor Grabec*, Viktor Krajnc**

EL-TEC MULEJ, d.o.o., Bled

* Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani

** JP Toplotna oskrba, d.o.o. Maribor

Povzetek:

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.

Prispevek obravnava način nadzora in vodenja sistema daljinskega ogrevanja, z namenom zagotavljanja ekonomske uspešnosti. 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.

V prispevku je predstavljen sistem za dinamično optimiranje obratovanja sistemov daljinskega ogrevanja ELTEC DOS, ki uporablja programski paket INTELPRED za napovedovanje rabe energije, zasnovan na metodah simuliranih nevronske mreže in genetskih algoritmov.

Opisani so rezultati prvih testiranj uporabe sistema v Javnem podjetju Toplotna oskrba, d.o.o. Maribor (TOM).

Ključne besede: sistemi daljinskega ogrevanja, dinamično optimiranje obratovanja, napovedovanje rabe energije, simulirane nevronske mreže, genetski algoritmi

Abstract:

A reliable operation and economic success of district heating systems is influenced by high quality system monitoring and control. We introduce a new way of monitoring and control of district heating systems in order to enhance their economical success. Through out planning and also in managing, monitoring and system maintenance the inclusion of various energy sources should be taken into account in connection with the future energy consumption prediction and operational economic optimum.

In the presented paper we introduce an advanced control optimization system ELTEC DOS that uses the prediction of future energy consumption as the basis for an economically optimal system control. The prediction of future energy consumption is determined with the INTELPRED program package that is based on simulated neural networks and genetic algorithms.

*VIII. Strokovno posvetovanje Slovenskega društva za daljinsko energetiko,
Proizvodnja in distribucija v daljinski energetiki
Portorož, 30. marec – 1. april 2005*

First test results of the introduced control system in the company JP Toplotna oskrba Maribor are presented in the paper.

Keywords: district heating, economic system management, dynamic optimization, energy consumption prediction, simulated neural networks, genetic algorithms

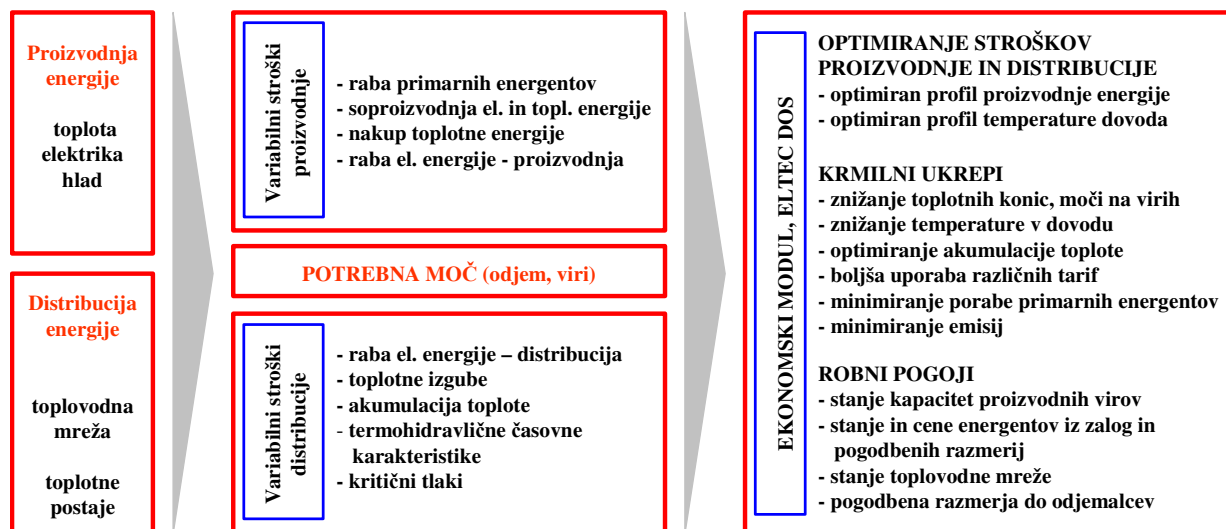
1. UVOD

Ekonomično vodenje kompleksnih sistemov **daljinskega ogrevanja** (DO) zajema racionalizacijo delovanja vseh komponent, ki so udeležene v procesu proizvodnje in distribucije daljinske toplote. V prispevku je opisan eden od možnih pristopov ekonomičnega vodenja sistemov **daljinskega ogrevanja**. Vodenje se izvaja na podlagi določitve optimalne 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).

2. EKONOMIČNO VODENJE KOMPLEKSNIH SISTEMOV DALJINSKEGA OGREVANJA

Osnova ekonomičnega vodenja je natančno poznavanje proizvodnjih 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.

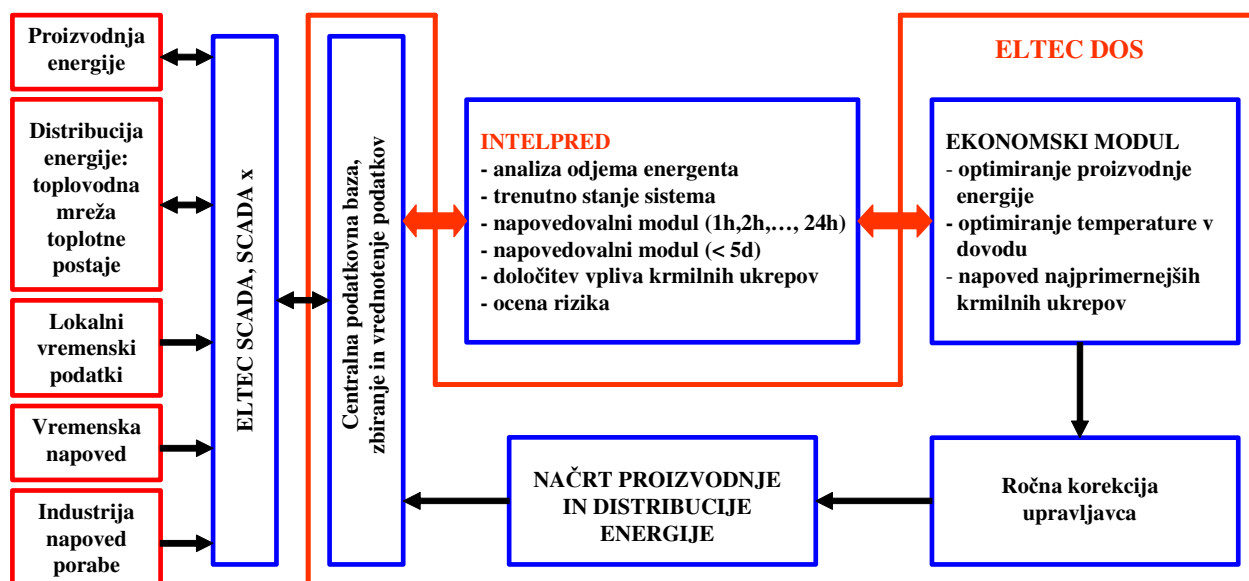
Ekonomično vodenje zahteva kakovostno napoved prihodnjih odjemov toplote ter oceno rizika presega mejnih vrednosti toplotnega odjema v prihodnosti. Za napoved zahtevanih spremenljivk uporabimo programski paket INTELPRED. Izračunane vrednosti nato posredujemo ekonomskemu modulu ELTEC DOS, katerega naloga je določitev ekonomsko najprimernejšega profila proizvodnje toplote ($f_p(t)$), temperature dovoda ($f_d(t)$) in kombinacije ter časovnega poteka krmilnih ukrepov ob upoštevanju pripadajočih robnih pogojev (slika 1).



Slika 1: Struktura in cilji ekonomičnega vodenja kompleksnih sistemov DO

3. PROGRAMSKI PAKET ELTEC DOS

Programski paket ELTEC DOS (**Dinamično Optimiranje Sistemov**) je zasnovan tako (slika 2), da omogoča veliko prilagodljivost na različne konfiguracije posameznih sistemov **daljinskih ogrevanj**. V nadaljevanju so opisani glavni moduli in njihove značilnosti.



Slika 2: Shematski prikaz zgradbe programskega paketa ELTEC DOS

3.1. CENTRALNA PODATKOVNA BAZA

V centralno podatkovno bazo se zapisujejo naslednji podatki:

- trenutno stanje proizvodnih virov (pretok, moč, temperatura v dovodu, ...),
- trenutno stanje toplovodne mreže (tlaki in temperature v različnih delih mreže),
- trenutno stanje toplotnih postaj (moč, temperatura v dovodu sekundarne strani, ...),
- trenutni lokalni vremenski podatki (temperatura, hitrost vetra, sončno obsevanje, ...),
- kratkoročna in dolgoročna vremenska napoved (temperatura, hitrost vetra, sončno obsevanje, ...),
- kratkoročna in dolgoročna napoved toplotnega odjema industrijskih odjemalcev (moč, temperatura v dovodu sekundarne strani, ...),
- krmilni ukrepi v skladu z načrtom proizvodnje in distribucije energije.

Izmenjava podatkov med centralno podatkovno bazo, SCADA sistemi (Supervisory Control and Data Acquisition), programskim paketom INTELPRED in programskim paketom ELTEC DOS poteka preko standardnega ODBC gonilnika (Open Database Connectivity).

3.2. INTELPRED

Programski paket INTELPRED omogoča napovedovanje rabe energije v vseh vrstah daljinskih energetskih sistemov. 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 in rabo energije v sistemu. Program napove delovanje sistema v prihodnosti ter oceni riziko presega izbranih mejnih vrednosti rabe energije v prihodnosti, na osnovi poznavanja trenutnega stanja sistema ter podanih predvidenih prihodnjih vrednosti nekaterih okoljskih spremenljivk. Izračunane napovedi in riziko presega izbranih vrednosti rabe energije v prihodnosti so osnova za določevanje ekonomsko najprimernejšega krmiljenja energetskega sistema. Podrobnejši opis programskega paketa INTELPRED je podan v literaturi [1].

3.3. EKONOMSKI MODUL

Ekonomski modul energetskega sistema simulira, na osnovi napovedanega odjema in minimalne temperature v dovodu, več različnih strategij vodenja sistema. Po opravljenih simulacijah izbere strategijo vodenja, ki zagotavlja minimum stroškovne funkcije. Stroškovna funkcija upošteva sledeče parametre:

- trenutne obratovalne razmere (trenutna moč naprav, pripravljenost naprav, način obratovanja, ...),
- napovedani odjem (toplotna moč, minimalna temperatura v dovodu) za kratkoročno in dolgoročno obdobje,
- tarifni sistem za toplotno energijo,
- tarifni sistem za električno energijo,
- stroški primarnih energentov,
- pogodbene omejitve,
- zagonski stroški,
- obratovalni stroški,
-

Rezultat je določitev časovnega poteka različnih krmilnih ukrepov in izdelava predloga načrta proizvodnje in distribucije energije.

3.4. NAČRT PROIZVODNJE IN DISTRIBUCIJE ENERGIJE

Upravljaivec sistema ima možnost sprejeti ali korigirati predlagane krmilne ukrepe. Rezultat njegovega pregleda je izdelava kratkoročnega načrta proizvodnje in distribucije energije. Podatki se prenesejo v centralno podatkovno bazo sistema ELTEC DOS, od koder so na voljo različnim orodjem, ki so namenjeni krmiljenju energetskega sistema.

4. OSNOVNI GRADNIKI SISTEMA DALJINSKEGA OGREVANJA

Za doseganje optimalnih rezultatov je potrebno dobro poznavanje delovanja vseh elementov sistema in njihove medsebojne povezanosti.

4.1. TOPLOTNE POSTAJE

Kakovost delovanja toplotne postaje in izmenjava podatkov z nadzornim centrom lahko v veliki meri vpliva na racionalizacijo delovanja celotnega sistema DO. Za doseganje optimalnih parametrov delovanja toplotne postaje je odločilno pravilno načrtovanje, izvedba in reguliranje sekundarnega sistema ter elementov toplotne postaje, katere srce predstavlja elektronski regulator [2, 3, 4]. Nekatere pomembne funkcije, ki jih mora lokalno zagotavljati elektronski regulator **daljinskega ogrevanja**, so:

- nastavitve vsaj tritočkovne ogrevalne karakteristike za natančen popis karakteristike objekta,
- nastavitve 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 (Fud, Fum, Ful),
- omejevanje maksimalne temperature v povratku primarja,
- omejevanje maksimalne priključne moči,
- omejevanje maksimalnega pretoka.

Faktor učinkovitosti toplotne postaje omogoča hitro odkrivanje odjemnih mest v sistemu DO, 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.

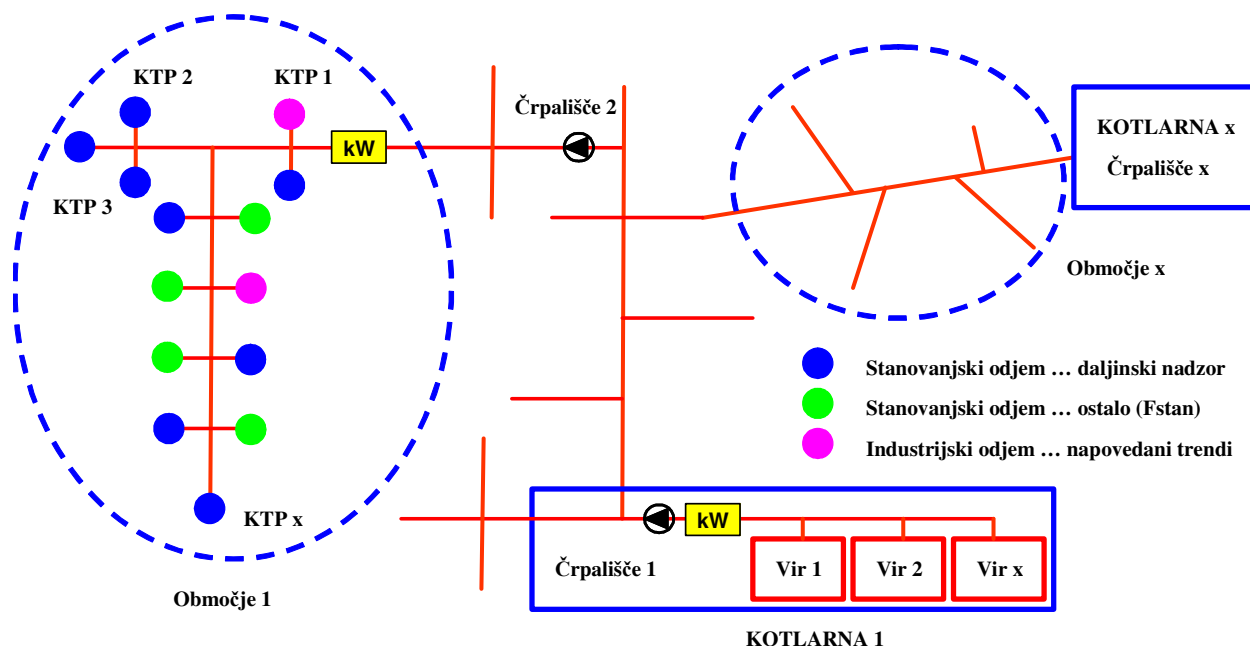
Podatke o stanju v sistemu pridobimo preko sistema **daljinskega nadzora** in upravljanja toplotnih postaj. Glavne prednosti uvedbe le-tega so:

- alarmiranje o nepravilnostih v obratovanju (dvig kvalitete storitve, znižanje stroškov servisnih posegov),
- arhiviranje podatkov (poznavanje delovanja sistema, reševanje reklamacij),
- on-line izvajanje krmilnih ukrepov (optimiranje delovanja, znižanje stroškov obratovanja in vzdrževanja).

4.2. TOPLOVODNA MREŽA

Toplovodne mreže so praviloma kompleksne cevne mreže, sestavljene iz mnogo ravnih odsekov, cevnih razcepov ali cevnih krogov. Namenski programski paketi (npr. HACM, Stanet, ...) omogočajo statično hidravlično analizo različnih tipov cevnih mrež [5, 6, 7]. Pridobljeni podatki so ključnega pomena za dimenzioniranje toplovodne mreže, določitev optimalne konfiguracije črpališč, ugotavljanje kritičnih točk v sistemu in ugotavljanje možnosti širjenja odjema.

Za potrebe optimalnega vodenja obratovanja sistema je potrebno modele cevnih mrež poenostaviti z združevanjem v posamezne sklope. Model cevne mreže lahko z združevanjem poenostavimo za 80-95 % brez pomembne izgube točnosti modela [8]. Pomembno je, da se pri tem ohranijo pomembne lastnosti cevne mreže, kot so: volumen medija v cevni mreži, časovni zamiki, masni tok, toplotne izgube in tlačne razmere. Poenostavljeni model se mora s primerno točnostjo ujemati z realnim modelom predvsem glede tlačnih razmer in dinamike transporta toplote.



Slika 3: Poenostavljanje cevne mreže

Podatki o stanju v sistemu, združeni po posameznih sklopih, so vhodni podatek v centralno podatkovno bazo sistema ELTEC DOS. Napoved odjema in najnižje dovodne temperature je izdelana po posameznih sklopih. S poznavanjem dinamike transporta toplote (statični model, meritve) in trenutnih tlačnih razmer v cevni mreži (meritve), lahko določimo časovni potek temperature in potreben pretok v posameznih sklopih mreže. To je vhodni podatek krmilnikom črpališč, preko katerih se vrši reguliranje frekvenčnih krmilnikov črpalk. V svetu se uveljavlja regulacija črpališč na osnovi poznavanja potrebnega pretoka [9], ki zamenjuje krmiljenje na podlagi tlačne diference. Na ta način lahko dosežemo prihranke električne energije v višini od 25-30 %.

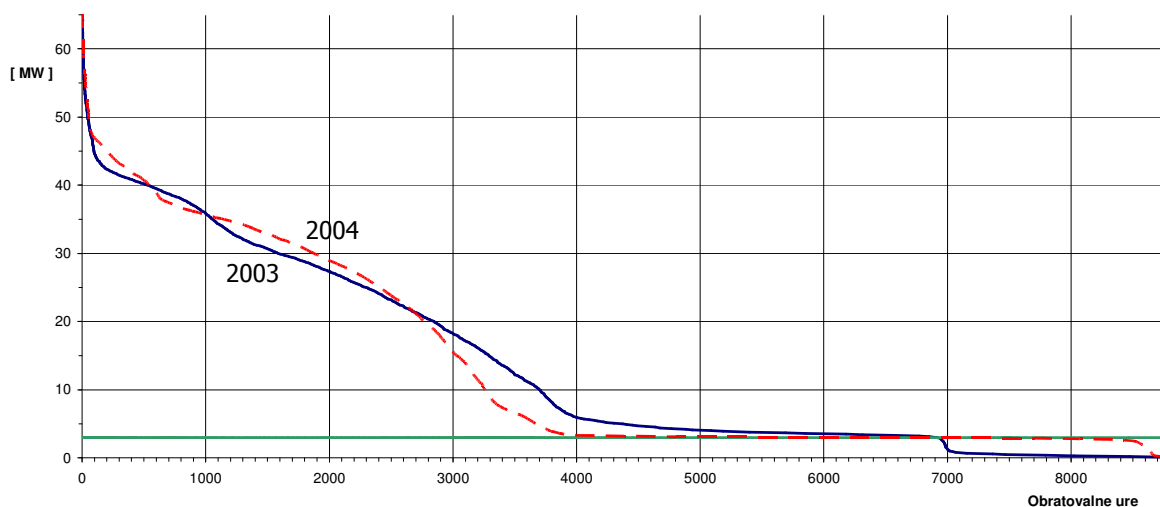
4.3. PROIZVODNJA ENERGIJE

Toplota se lahko proizvaja namensko ali v sproizvodnji 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 [10]. 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 in minimalne temperature v dovodu v sistemu DO (ELTEC DOS, INTELPRD).

Na podlagi poznavanja napovedanega profila odjema in minimalne temperature v dovodu, ekonomski modul pripravi načrt proizvodnje toplote glede na minimum stroškovne funkcije.

Na sliki 4 je prikazan urni odjem toplote v omrežju TOM. Prekinjena črta prikazuje urni odjem v letu 2004. Iz diagrama je razvidno, da se je toplota do potrebne toplotne moči cca. 7 MW v primerjavi z letom 2003 proizvajala iz cenejšega vira. Tak rezultat je bil dosežen z izbiro primerne postrojenja za sproizvodnjo toplotne in električne energije (SPTE: $Q_{el}=3$ MW, $Q_{th}=3$ MW) in akumulacijo presežnih kapacitet toplote v cevni mreži.



Slika 4: Urni odjem toplote v omrežju TOM

5. 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.

Dosedanji izdelki in storitve podjetja EL-TEC MULEJ (KTP BLED, ELTEC TP-01, ELTEC TP-03, ELTEC SCADA) zagotavljajo distributerjem toplote učinkovit nadzor in upravljanje odjemnih mest. Skupno razvojno delo s Fakulteto za strojništvo v Ljubljani in Fakulteto za kemijo in kemijsko tehnologijo v Mariboru je že dve leti usmerjeno v razvoj izdelkov in storitev za ekonomično vodenje proizvodnje in distribucije toplote. Rezultat tega je programski paket ELTEC DOS, ki deluje na osnovi čim bolj točne napovedi odjema toplote v prihodnosti (INTELPRED) in izbire krmilnih ukrepov glede na minimum stroškovne funkcije, ob zagotavljanju stabilnosti obratovanja sistema.

V sodelovanju s TOM se vsa operativna testiranja posameznih modulov sistema opravljajo na sistemu **daljinskega ogrevanja** srednje velikosti ($Q_{odjem}=94$ MW). Trenutno sta v fazi operativnega testiranja modul za zajem podatkov v centralno podatkovno bazo in modul za napovedovanje odjema energije, znotraj programskega paketa INTELPRED. Do jeseni predvidevamo zaključek razvoja 1. faze ekonomskega modula in v ogrevalni sezoni 2005/06 zaključek operativnega testiranja celotnega sistema. V letu 2006 bo programski paket ELTEC DOS s spremljajočimi storitvami pripravljen za uporabo na tržišču. Pričakovane vrednosti prihrankov proizvodnje in distribucije energije so od 2 % (letno obratovanje) do 7 % (zimsko obratovanje).

S ponudbo kompleksnih storitev distributerjem toplote, opremljeni z zmogljivimi programskimi orodji in »oboroženi« s primernimi kadri, želimo prevzeti del odgovornosti za učinkovito rabo energije (URE) v daljinskih energetskih sistemih, boljše izrabo možnosti obnovljivih virov energije (OVE) in virov toplote iz soproizvodnje električne energije in toplote (SPTe).

6. LITERATURA

*VIII. Strokovno posvetovanje Slovenskega društva za daljinsko energetiko,
Proizvodnja in distribucija v daljinski energetiki
Portorož, 30. marec – 1. april 2005*

- [1] Thaler M., Poredoš A., Grabec I., Torkar J.: Napoved rabe energije kot osnova za vodenje daljinskih energetske sistemov, VIII zbornik SDDE, Portorož, marec 2005
- [2] Robič M., Torkar J.: Sistem daljinskega nadzora in upravljanja toplotnih postaj, III zbornik SDDE, Portorož, marec 2000, pp.139-148.
- [3] Torkar J., Robič M., Erklavec M.: Odprti sistemi avtomatizacije - LONWORKS, IV zbornik SDDE, Portorož, marec 2001, pp.155-164.
- [4] Torkar J., Jakl A., Goričanec D., Perc A., Robič M.: Dinamično optimiranje obratovanja vročevodnih sistemov, V zbornik SDDE, Portorož, marec 2002, pp.57-66.
- [5] Krobe J., Goričanec D.: Analysis of Pipe Networks Including Pumps, Energy and Buildings, Lausanne 17, 1991, pp.141-145.
- [6] Goričanec D., Krobe J.: Pretočno-tlačna analiza procesnih omrežij v odvisnosti od stopnje odprtosti ventilov, Strojniški vestnik, Ljubljana, 33, 1987, 10-12, pp.179-180.
- [7] Krobe J., Goričanec D. and Garbai L.: Optimal Design of Processing Networks, Hungarian Journal of Industrial Chemistry, Budapest 23, 1995, 3, pp.161 -165.
- [8] Boehm B.: Simple models for operational optimisation, News from DBDH, 3/2002, pp.10-15.
- [9] Moller H., Widell E., Ribickis L., Hansen I.: Energy efficient pump control, News from DBDH, 4/2002, pp.30-33.
- [10] Munck A.: Optimisation of operational planning in CHP plants, News from DBDH, 4/2002, pp.26-29.