

# **GOSPODARNO VODENJE ČRPALIŠČ IN TEMPERATURE V DOVODU**

## **ECONOMIC WAY OF SETTING INLET TEMPERATURE AND PUMP OPERATION**

Tomaž Benedik, Jože Torkar, Blaženka Pospiš Perpar

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

### **POVZETEK**

V prispevku so predstavljeni učinki, ki jih lahko dosežemo z uporabo programskega modula za ekonomično vodenje temperature v dovodu in programskega modula za ekonomično vodenje črpališč v sistemih daljinskega ogrevanja. Predstavljene so rešitve, ki distributerjem omogočajo lažje in učinkovitejše vodenje distribucije toplote.

Temperaturna optimizacija znižuje toplotne izgube v mreži z avtomatičnim predlaganjem oziroma nastavljanjem temperature dovoda, hkrati pa zagotavlja, da temperatura dovoda pri odjemalcu ustreza zahtevani. Upošteva se akumulirano toploto v mreži in spremembe v odjemu.

Sistem optimizacije delovanja črpalk pomaga določiti, kako naj črpalke v mreži daljinskega ogrevanja v določenem trenutku delujejo, da bi se stroški njihovega obratovanja znižali. Združuje spoznanja o hidravličnih omejitvah, stanju pri izpadih opreme, stroških in dobavi energije ter tako omogoča najgospodarnejše vodenje sistema.

Predstavljeni so ekonomski učinki uvedbe teh sistemov v operativno vodenje sistemov daljinskih ogrevanj.

**Ključne besede:** daljinsko ogrevanje, modeliranje cevnih mrež, ekonomična distribucija toplote, toplotne izgube

### **ABSTRACT**

The paper presents effects achieved by using software module for establishing the most economic way of setting inlet temperature and the software module for establishing the most economic way of pump operation in district heating network. Solutions are described which facilitate easier and more efficient control of heat production and distribution.

Temperature optimization minimizes the heat loss within the network by automatically advising or adjusting the set points for the inlet temperatures, while at the same time ensuring that the consumer temperature meets the requirements. TERMIS Temperature Optimization takes into account the accumulated heat within the network and the changes in consumption.

Pump optimization feature helps you determine how the pumps within a district energy network should operate at any given time in order to minimize the total pumping costs for the entire network. It combines knowledge of hydraulic

**constraints, outage of equipment, energy costs and heat supply to establish the most economic way of operation.**

**The paper presents economic effects of implementing these systems into operation of district heating networks.**

**Key words: district heating, pipe networks modeling, economical heat distribution, heat losses**

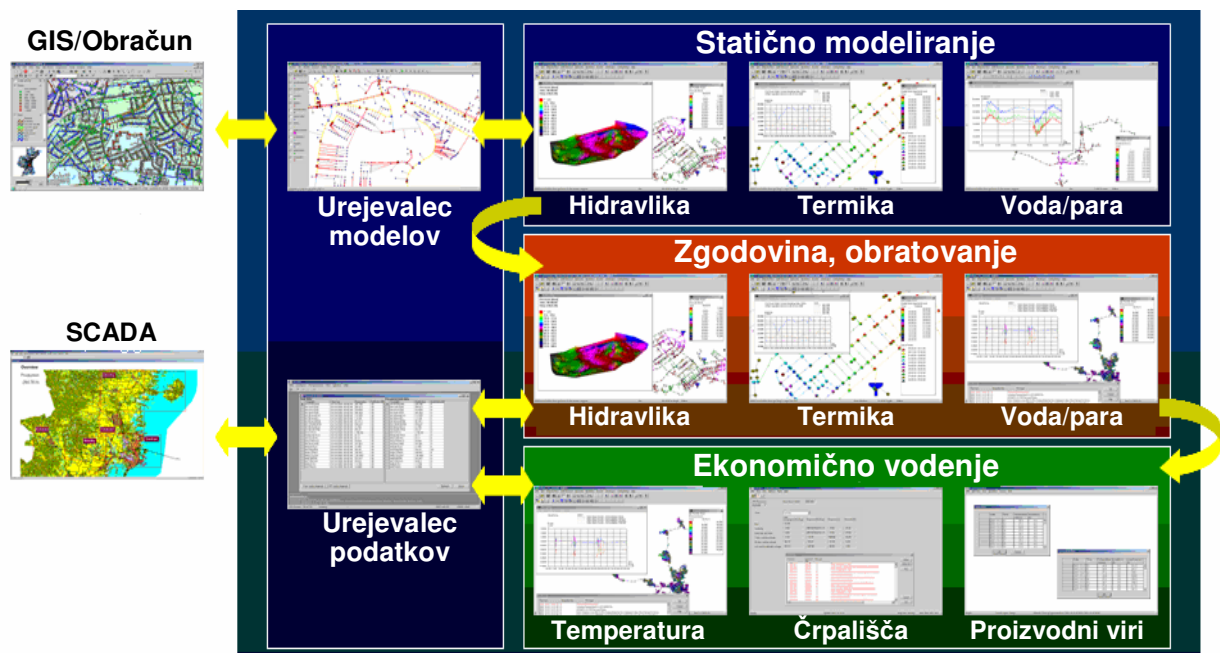
## 1. UVOD

Večina distributerjev sistemov **daljinskega ogrevanja** (DO) vodi temperaturo vode v dovodu glede na zunanjo temperaturo z določeno rezervo, da z gotovostjo zadostijo potrebnemu toplotnemu odjemu. Posledica tega so večje toplotne izgube ter višji stroški za delovanje črpalk, kot bi bili, če bi sisteme vodili v odvisnosti od dnevne potrebe po toploti posameznih odjemalcev in nestalnega odjema. Tak način vodenja je mogoč le ob dobrem poznavanju sistema oziroma z uporabo programskih modulov za ekonomično vodenje temperature vode v dovodu in programskega modula za ekonomično vodenje črpališč.

V prispevku so opisane tehnične rešitve in ekonomski učinki uvedbe teh dveh programskih modulov v sisteme **daljinskega ogrevanja**.

## 2. STRUKTURA SISTEMA ZA EKONOMIČNO VODENJE

Za potrebe ekonomičnega vodenja distribucije toplote potrebujemo dobro organiziran podatkovni tok, primer je prikazan na sliki 2.1. Osnova za doseganje kakovostnih rezultatov je urejen GIS in SCADA sistem. Za izmenjavo vseh potrebnih podatkov skrbita dva vmesnika.



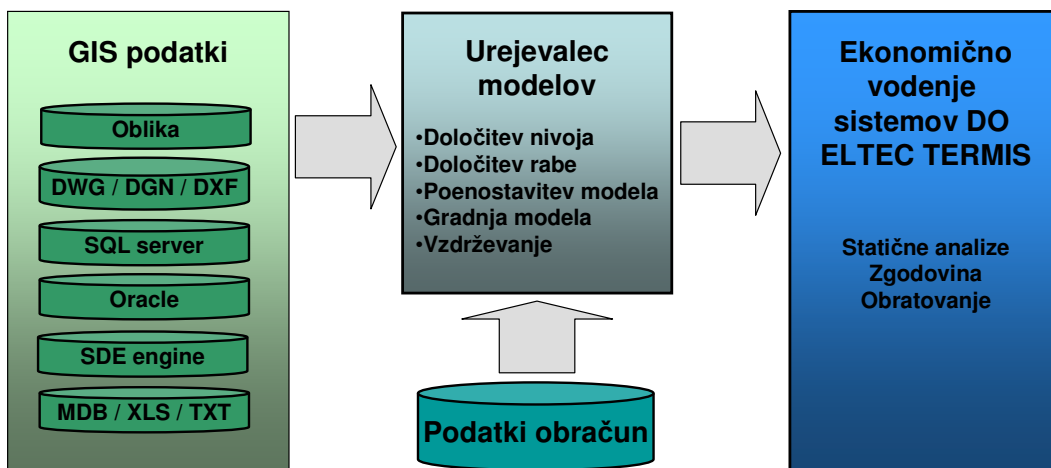
Slika 2.1.: Struktura sistema za ekonomično vodenje sistemov DO

Urejevalec modelov skrbi za izmenjavo podatkov in modelov med službami za vzdrževanje GIS sistema, obračuna in službo za načrtovanje. Služba za načrtovanje pri svojem delu uporablja statične hidravlične in termične modele.

Urejevalec podatkov skrbi za izmenjavo procesnih podatkov o stanju proizvodnje, distribucije, toplote in vremenskih napovedi s službama za operativno vodenje distribucije toplote in proizvodnje toplote. Službi pri svojem delu uporabljata orodja, ki jima omogočajo dinamičen izračun (zgodovina in obratovanje) krmilnih parametrov, s katerimi se doseže stroškovni minimum ob zagotavljanju ustrezne kakovosti dobave toplote.

### 3. UREJEVALEC MODELOV

Urejevalec modelov omogoča, da podatke iz različnih informacijskih sistemov enostavno prenesemo v sistem za ekonomično vodenje sistemov DO. S pomočjo teh podatkov Urejevalec modelov avtomatično izdelava model sistema. Vse podatke hkrati tudi preverja in zazna napake, kot so podvajanje cevi, manjkajoče cevi ali napačne dimenzije. Posodabljanje modela v Urejevalcu modelov je avtomatično, kar je pomembno zaradi enostavnega osveževanja podatkov ob novogradnjah ali obnovah sistemov DO. Kar se je včasih delalo več mesecev, je sedaj z orodjem ELTEC TERMIS narejeno v nekaj urah.



Slika 3.1.: Urejevalec modelov – funkcije in vmesniki

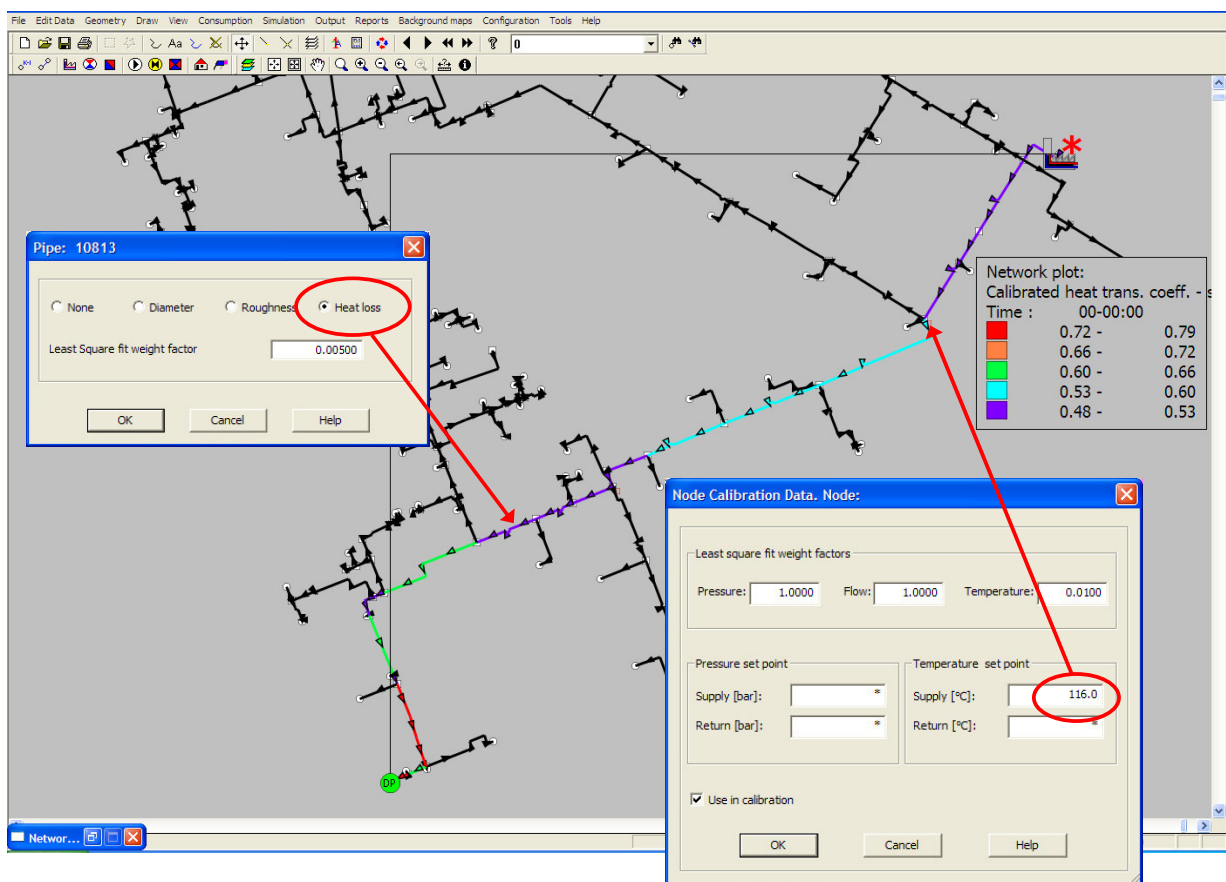
### 4. STATIČNO MODELIRANJE

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 mrež** [1]. Orodje ELTEC TERMIS omogoča hitro ovrednotenje učinka sprememb na daljinski energetski sistem. Uporablja se za načrtovanje sistema in njegovega obratovanja, izdelavo hidravličnih in termičnih analiz, izdelavo in analizo alternativnih scenarijev vodenja sistema, določitev robnih pogojev za distribucijo energije ter zahteve za črpalke za različne konfiguracije sistemov.

Z statičnim modeliranjem dobimo teoretični pregled delovanja sistema DO. S pridobljenimi podatki lahko izvajamo različne simulacije ob različnih scenarijih, kot je npr. priključitev novih stanovanjskih in industrijskih objektov, vzdrževalna in obnovitvena dela, spremembe v odjemu, spremembe v obratovalnih shemah ali vgradnja nove opreme.

Pridobljeni podatki so ključnega pomena za dimenzioniranje toplovodne mreže, določitev optimalne konfiguracije črpališč, ugotavljanje kritičnih točk v sistemu in ugotavljanje možnosti širjenja odjema [2, 3, 4].

## 5. UMERJANJE HIDRAVLIČNIH IN TERMIČNIH PARAMETROV



Slika 5.1.: Umerjanje hidravličnih in termičnih parametrov posameznih delov toplovodne mreže

Da model mreže predstavlja najboljši možni posnetek stanja v realnem sistemu **daljinskega ogrevanja**, je potrebno umeriti hidravlične in termične parametre v **cevni mreži**. V tej fazi je potrebo vgraditi merilno opremo za umerjanje (tlačni in temperaturni senzorji) na nekaj mestih v **cevni mreži**. Meritve se uporabi za vnos v teoretični hidravlični in termični model toplovodne mreže in izvede umerjanje hidravličnih in termičnih parametrov posameznih

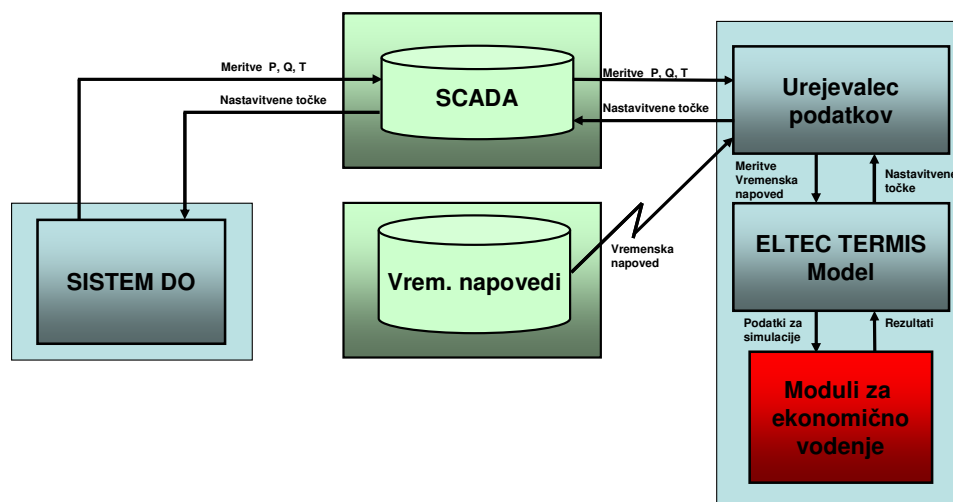
delov toplovodne mreže, kot je razvidno iz slike 5.1. Umerjanje hidravličnih in termičnih parametrov je potrebno opraviti večkrat in sicer ob različnih toplotnih obremenitvah mreže čez dan, da je končni rezultat čim boljši približek realnemu stanju. Potek postopka je opisan v literaturi [5].

Meritve tlaka izvedemo ob čim večji, meritve temperatur pa ob čim manjši toplotni obremenitvi mreže.

Rezultat umerjanja je nov hidravlični in termični model toplovodne mreže, ki predstavlja realno trenutno stanje v naravi. Na osnovi novega modela se lahko predlaga ukrepe in njihovo zaporedje za izboljšanje delovanja odjemnih mest in mreže v sistemu **daljinskega ogrevanja**.

## 6. VODENJE SISTEMA **DALJINSKEGA OGREVANJA** V REALNEM ČASU

Za prenos procesnih podatkov o stanju proizvodnje in distribucije toplote, odjemnih mest in vremenskih napovedi v sistem za ekonomično vodenje sistemov DO skrbi Urejevalec podatkov. Vse podatke hkrati tudi preverja in zazna napake, kot so manjkajoči ali napačni podatki, ... Urejevalec podatkov skrbi tudi za prenos podatkov iz sistema za ekonomično vodenje sistemov DO v SCADA pakete, kot je prikazano na sliki 6.1. Lahko nadziramo trenutne pretoke, tlake in temperature v **cevni mreži**, predvidimo prihodnje stanje in zaznamo težave pri obratovanju in distribuciji, preden se pojavijo.



Slika 6.1.: Princip vodenja sistema **daljinskega ogrevanja** realnem času

v

Z modulom za obratovanje v realnem času lahko izvajamo simulacije na podlagi najnovejših podatkov o stanju v sistemu DO. To pomeni, da imamo vedno vpogled v trenutno stanje v **cevni mreži**, tudi na tiste dele, kjer ni na voljo nobenih meritev. Prednost modula je tudi uporaba napovedovalnih simulacij, kjer lahko na podlagi vremenskih podatkov predvidimo prihodnja stanja in težave v **cevni mreži**. Širše razumevanje delovanja mreže in njenih značilnosti dosežemo z uporabo podatkov iz SCADA, preko katere sistem stalno prejema najbolj sveže podatke iz **cevne mreže**.

Preverjanje preteklega stanja v **cevni mreži** izvajamo z modulom Zgodovina, s katerim simuliramo stanje v preteklosti na podlagi shranjenih podatkov v Urejevalcu podatkov. Vsak korak v preteklosti je simuliran podobno kot obratovanje v realnem času, s to razliko, da temelji na podatkih iz preteklosti. Na ta način lahko obdelujemo določeno stanje v preteklosti, s spreminjanjem različnih parametrov pa simuliramo, kaj se zgodi, če bi v tistem trenutku sistem DO vodili drugače kot sicer.

## 7. EKONOMIČNO VODENJE TEMPERATURE V DOVODU

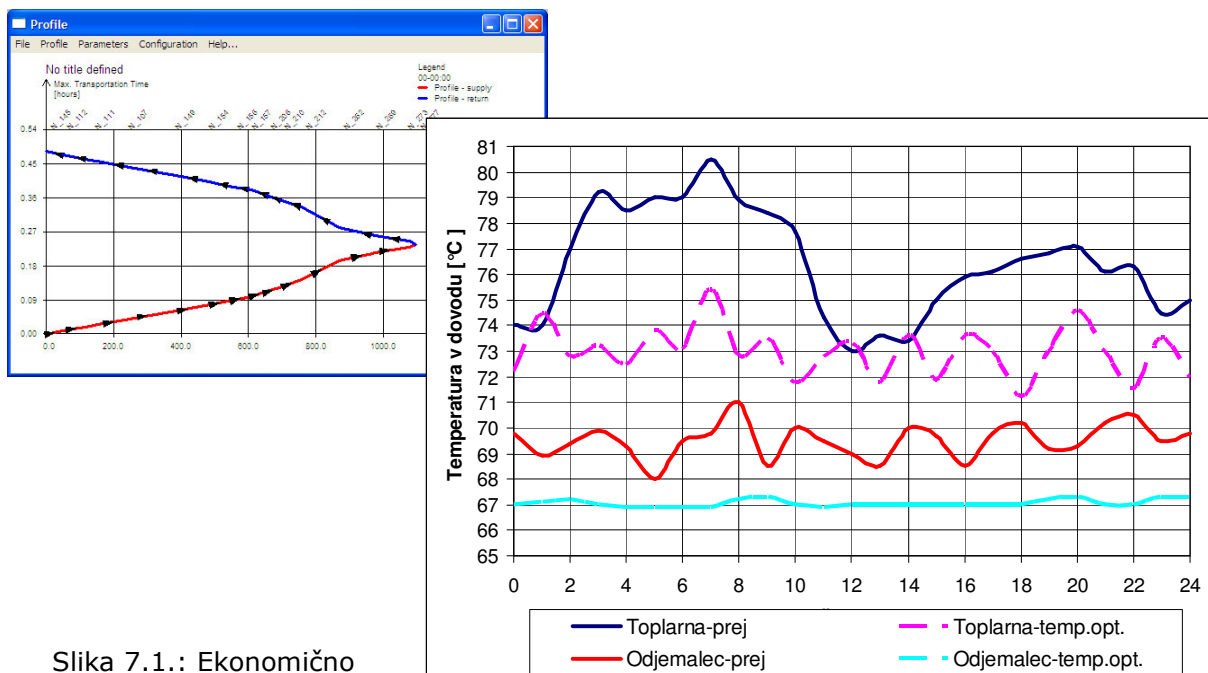
Toplotne izgube na dovodu toplovodne mreže lahko zmanjšamo z uvedbo modula za ekonomično vodenje temperature v dovodu. Za izvedbo regulacije optimalne temperature v dovodu je ključnega pomena dobro poznavanje karakteristik odjema končnih odjemalcev v odvisnosti od različnih temperatur v dovodu. Potrebno 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). Na sliki 7.1. je prikazan primer optimalne temperature v dovodu v odvisnosti od temperature na dovodu pri končnem odjemalcu in potrebnem transportnem času do končnega odjemalca.

Za določitev optimalne temperature v dovodu se uporablja nekaj nadzornih parametrov: nadzor temperature v nekaj točkah, največja in najmanjša možna temperatura v dovodu kot omejitev proizvodnega vira, največja možna stopnja spremembe temperature v dovodu v določenem času, da preprečimo poškodbe cevi in pretočno tlačne razmere na proizvodnem viru in črpališčih.

Ekonomično vodenje 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.

Sistem za ekonomično vodenje temperature v v dovodu poleg transportnega časa in vremenskih podatkov upošteva tudi akumulirano toploto v mreži in hranilnikih toplote, kar nam pomaga optimirati vodenje sistema ob konicah. Zaradi predhodnega umerjanja termičnih parametrov dobimo podatke o dejanskih toplotnih izgubah v mreži.

Takojšnji učinek uvedbe sistema za ekonomično vodenje temperature v dovodu je zmanjšanje toplotnih izgub, posledično pa tudi zmanjšanje emisij CO<sub>2</sub>.

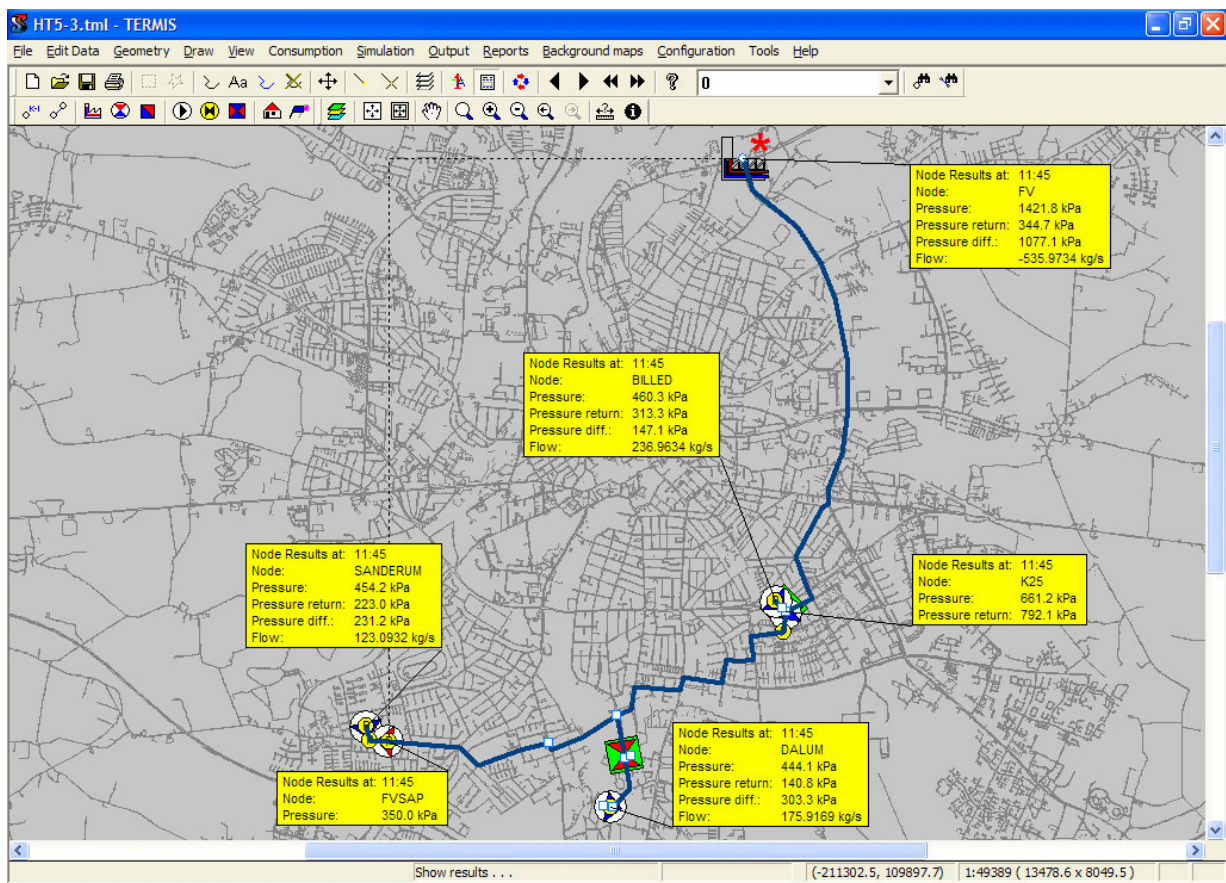


Slika 7.1.: Ekonomično

vodenje temperature v dovodu

## 8. EKONOMIČNO VODENJE ČRPALIŠČ – TLAČNIH IN PRETOČNIH RAZMER

Modul za ekonomično vodenje črpališč na podlagi realnih podatkov o stanju toplovodne mreže izračunava, kako naj črpalke v določenem trenutku delujejo, da bi se stroški njihovega obratovanja znižali za celo mrežo. 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 Urejevalec podatkov, kjer se izvede popravek vseh napačnih ali manjkajočih podatkov. Iz Urejevalca podatkov 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. Sistem za ekonomično vodenje črpališč upošteva tako črpalke na mestu proizvodnega vira kot tudi črpalke, postavljene v različnih delih mreže, kar je prikazano na sliki 8.1. Izkušnje kažejo, da lahko uporaba modula za ekonomično vodenje črpališč prinese od 10 do 20 odstotne prihranke pri obratovalnih stroških črpalk.



Slika 8.1.: Ekonomično vodenje črpališč

## 9. IZRAČUN PRIHRANKA

Za primer izračuna prihranka vzemimo sistem DO z letno proizvodnjo toplotne energije na pragu toplarne 70.000 MWh, izkoristkom mreže 81% in povprečnim letnim temperaturnim režimom delovanja 96/62°C.

Predpostavimo, da se z uvedbo programskega modula za ekonomično vodenje temperature v dovodu povprečna letna temperatura v dovodu lahko zmanjša za 7°C, z uvedbo programskega modula za ekonomično vodenje črpališč pa lahko prihrani 10% električne energije, ob upoštevanju, da je črpališče že frekvenčno vodeno.

Proizvedena	Prodana	Toplotne	Izkoristek	Cena	Poraba	Cena
-------------	---------	----------	------------	------	--------	------

toplota [MWh]	toplota [MWh]	izgube [MWh]	mreže [%]	proizvedene toplote [€/MWh]	električne energije [MWh]	električne energije [€/MWh]
70.000	56.700	13.300	81	40	1.700	60

Tabela 9.1: Vhodni podatki za izračun prihranka z uvedbo programskih modulov za ekonomično vodenje

Zmanjšanje toplotnih izgub se izračuna po naslednji enačbi:

$$\text{Zmanjšanje [\%]} = 100 - ((T_{so} - T_{out}) + (T_{ro} - T_{out})) / ((T_{st} - T_{out}) + (T_{rt} - T_{out})) \times 100 \quad (1)$$

Kjer je:

- $T_{st}$  temperatura v dovodu – danes [°C]
- $T_{rt}$  temperatura v povratku – danes [°C]
- $T_{out}$  temperatura okolice cevi – povprečna [°C]
- $T_{so}$  temperatura v dovodu – optimirana [°C]
- $T_{ro}$  temperatura v povratku – optimirana [°C]

Na podlagi vhodnih podatkov iz tabele 9.1 in enačbe (1) dobimo:

$T_{st}$ [°C]	96
$T_{rt}$ [°C]	62
$T_{out}$ [°C]	10
$T_{so}$ [°C]	89
$T_{ro}$ [°C]	62
Zmanjšanje toplotnih izgub [%]	5,07
Zmanjšanje toplotnih izgub [MWh]	675
Znižanje stroškov zaradi zmanjšanja toplotnih izgub [€]	27.000
Izkoristek mreže po uvedbi optimizacije [%]	18,04
Izboljšanje izkoristka mreže zaradi optimizacije [%]	0,96
Zmanjšanje porabe električne energije [%]	10
Zmanjšanje porabe električne energije [MWh]	170
Znižanje stroškov za električno energijo [€]	10.200
<b>Skupno znižanje stroškov [€]</b>	<b>37.200</b>

Tabela 9.2: Ekonomski prikaz rezultatov uvedbe programskih modulov za ekonomično vodenje

Pri danih podatkih in izračunih bi enostavna vračilna doba v programske module za ekonomično vodenje obratovanja sistema DO znašala 4,4 let.

## 10. ZAKLJUČEK

Osnova za uvedbo modulov za ekonomično vodenje je dobro pripravljen statični model, s katerim dobimo teoretični pregled na delovanjem sistema DO. Že v tej fazi pa lahko tudi simuliramo različne scenarije, kot so spremembe v odjemu, priključitev novih porabnikov, ali predvidimo novo stanje ob morebitnih sanacijah **cevne mreže**.

Z umerjanjem hidravličnih in termičnih parametrov dobimo najboljši možni posnetek stanja v realnem sistemu DO. Na osnovi novega umerjenega modela lahko določimo odseke v **cevni mreži**, kjer prihaja do največjih toplotnih izgub in tlačnih padcev ali predlagamo ukrepe za izboljšanje delovanja odjemnih mest.

Izboljšanje učinkovitosti sistemov DO lahko dosežemo z uvedbo modulov za ekonomično vodenje temperature v dovodu in črpališč. Uvedba sistema ELTEC TERMIS v vodenje sistemov DO upravljavcem omogoča vodenje sistema po svojih željah oziroma najnižjih možnih stroških in potrebah odjemalcev. Zasnovan je kot ključna podpora vodenju proizvodnje in obratovanja sistema DO, z njim zmanjšamo energijske izgube, znižamo obratovalne stroške in stroške investicij, hkrati pa je tudi pritožb in reklamacij odjemalcev manj. Je uporabniku prijazno orodje, ki upravljavcem sistemov DO pomaga izpolniti zahtevane standarde in doseči poslovne cilje.

## 11. LITERATURA

- [1] D. Goričanec, A. Jakl, J. Krobe, V. Krajnc: A Software Tool for Pressure-Flow Analysis of Conditions in Pipe Networks, *Journal of Mechanical Engineering*, 44 (3/4), 1998, str. 129-136
- [2] J. Krobe, D. Goričanec: Analysis of Pipe Networks Including Pumps, *Energy build.*, 17, 1991, str. 141-145.
- [3] A. Krobe, J. Krobe, D. Goričanec: Optimization of Transport Pipe Networks, *Proceedings of the IASTED International Conference: High Technology in the Power Industry*, IASTED: Orlando, 1997, str. 277-282.
- [4] D. Goričanec, J. Krobe, Ž. Knez.: Drag reduction in district heating networks with surfactant additives, *WSEAS Trans. Circuits*, Oct. 2004, Vol. 3, iss. 8, pp. 1682-1687
- [5] P. Ougaard & others: Termis Help Manual, Seven Technologies A/S, [www.7t.dk](http://www.7t.dk), februar 2006
- [6] S. Iversen, P. Ougaard, J. K. Loppenthien: Dynamic Temperature Optimization – Providing Instant Result, *EuroHeat&Power English edition*, Vol. 3, II/2006
- [7] J. Torkar., A. Poredoš, I. Grabec (2006): Ekonomično vodenje kompleksnih sistemov **daljinskega ogrevanja**, 2. seminar podiplomskega študija, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, str. 57-66