

# UTICAJ SNIŽAVANJA TEMPERATURE VODE U SEKUNDARNOM TOKU NA SMANJENJE GUBITAKA PRI TRANSPORTU TOPLOTNE ENERGIJE – VIŠEGODIŠNJA MERENJA U PILOT-ZGRADI

## INFLUENCE OF THE TEMPERATURE DECREASE IN THE SECONDARY WATER FLOW ON THE REDUCTION OF TRANSPORT ENERGY LOSSES – THREE YEAR MEASUREMENTS AT A PILOT-BUILDING

NEBOJŠA LUKIĆ,  
Mašinski fakultet, Kragujevac

*Snižanjem temperature vode u sekundarnom vodu sistema daljinskog grejanja, značajno se mogu smanjiti gubici pri transportu toplotne energije. Ukoliko su energetske zahtevi potrošača na istom nivou, definisani efekti se mogu postići uvećanjem grejnih tela u prostorijama, čime bi se obezbedilo da se identična količina toplote razmenjuje na nižoj srednjoj temperaturi grejne vode. U okviru rada na projektu NPEE243001, u odabranoj i prethodno pripremljenoj zgradi sa 14 prostorija izvršeno je merenje potrošnje toplotne energije i svih potrebnih parametara u tri grejne sezone. U prvoj sezoni, zgrada je grejana postojećim radiatorima, a u narednoj sezoni toplotni učinak radijatora je uvećan za prosečno 16%. U trećoj grejnoj sezoni prethodno uvećanim radiatorima su ugrađeni termostatski ventili. Primenjenim izmenama u pilot-zgradi postignuto je sniženje srednje temperature vode u sekundarnom cevovodu za 3,4°C. Efekti smanjenja gubitaka pri transportu*

*Heat transport losses in a district heating system can be significantly reduced by temperature decrease of the secondary water flow (water in radiators). If the building energy demands are on the same level, these effects may be achieved by increasing the radiator surface in rooms. Thus, the same amount of heat is transferred (exchanged) at lower mean temperature of secondary water. Within the activities on NPEE243001 project, thermal energy consumption and all necessary parameters were measured for three heating seasons in a selected and specially prepared pilot building with 14 rooms. During the first heating season, the pilot building was heated by the existing radiators, and during the following season the radiator capacity was increased by 16%. During the third heating season the thermostatic valves were installed in the increased capacity radiators and, thus, secondary water mean temperature was reduced by 3.4°C. The effects of reduction of heat*

*toplotne energije bili su prosečno 5,1 W/m u sekundarnom i 1 W/m do 2 W/m u primarnom cevovodu.*

*transport losses were 5.1 W/m in the secondary pipe network and 1–2 W/m in the primary pipe network.*

***Ključne reči:*** sniženje temperature; sistem daljinskog grejanja; uštede transportne energije

***Key words:*** temperature decrease; district heating system; heat transport savings

## 1. Uvod

Analize potrošnje energije u Nemačkoj pokazale su da se oko 40% primarne energije troši za zagrevanje objekata [1]. Najveći sistemi u kojima se troši ova energija, sistemi daljinskog grejanja, poznati su u praksi još od kraja devetnaestog veka. Njihove prednosti u odnosu na druge sisteme grejanja uticale su da oni budu praktično dominantan vid zagrevanja objekata u većini evropskih zemalja. Visoki stepeni efikasnosti postrojenja, centralizovano skladištenje goriva, optimizacija sistema, povoljni ekonomski i ekološki aspekti, dobre su strane sistema daljinskog grejanja. Sa razvojem gasne mreže i manji sistemi centralnog grejanja postaju vrlo efikasni i ekonomični, deleći mnoge dobre karakteristike sa sistemima centralnog grejanja. Sa druge strane, ključni nedostaci sistema daljinskog grejanja su visoki investicioni troškovi, funkcionisanje u prelaznim režimima i transportni gubici toplotne energije. Različitim metodama optimizacije daljinskih sistema grejanja teži se da se uticaji opisanih nedostataka svedu na minimum [2–10].

Sa druge strane, da bi se smanjili transportni gubici energije u sistemima centralnog (daljinskog) grejanja, sve više se pribegava niskotemperaturnom grejanju, gde temperature u razvodnim vodovima ne prelaze 55°C–60°C [1]. Opisani sistemi podrazumevaju kvalitetno izolovane savremene objekte, koji imaju niske zahteve za toplotnom energijom (80–120 kWh/m<sup>2</sup>god.).

Teorijske analize uštede toplotne energije pri transportu grejnog fluida u primarnom i sekundarnom vodu sistema daljinskog grejanja, pokazale su mogućnost značajnih ušteda snižavanjem temperature vode, pri istim energetskeim zahtevima grejanih objekata [11]. U okviru realizacije projekta NPEE243001, u sklopu pilot-zgrade sa 14 prostorija, u tri grejne sezone, merenjima su potvrđeni rezultati dobijeni u [11].

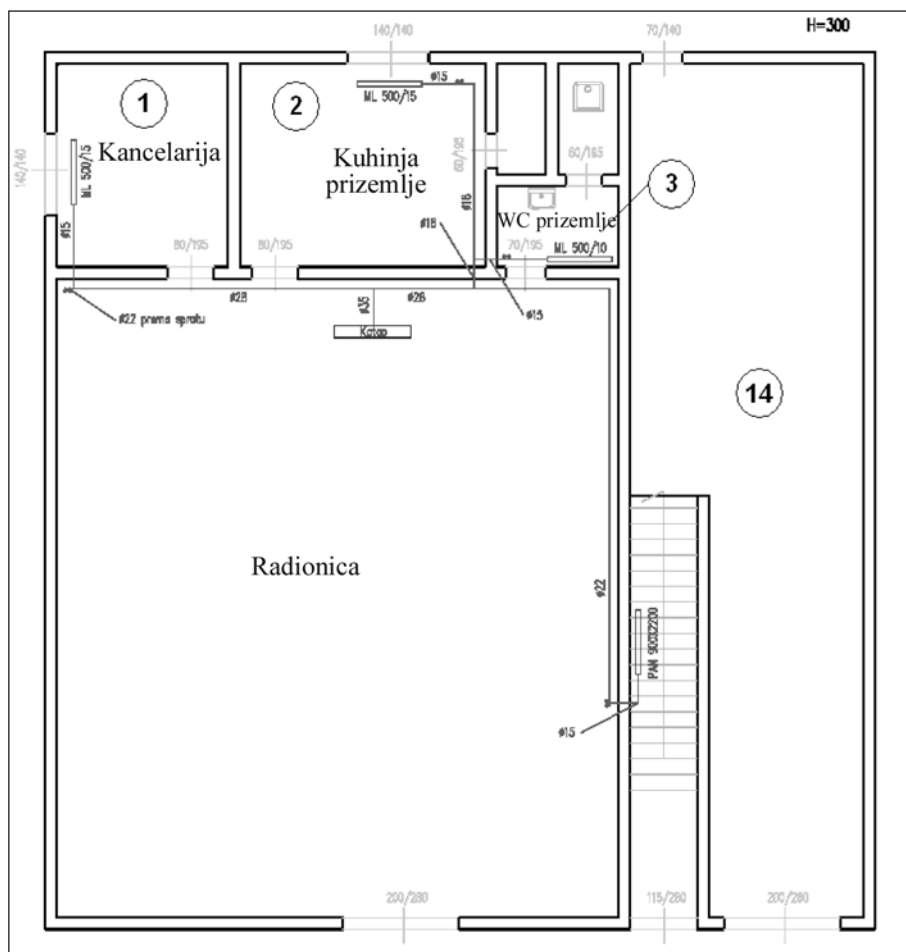
## 2. Karakteristike pilot-zgrade

S obzirom na predviđene aktivnosti, bilo je od posebnog značaja izabrati merenu zgradu, relativno manjih dimenzija, sa slobodnim pristupom svim prostorijama i kotlarnici, 24 h dnevno.

Odabrana merena (pilot) zgrada (stara upravna zgrada firme CINI u Čačku) sadrži 14 prostorija, u dva nivoa (prizemlje i sprat), što je prikazano na slikama 1 i 2. U negrejanjoj prostoriji u prizemlju nalazi se električni kotao snage 24 kW, kojim se zgrada greje, a na kome je ugrađeno električno brojilo, što je omogućavalo precizno merenje utrošene električne odnosno toplotne energije. Dalje su merene ulazne i izlazne temperature vode iz kotla, kao i temperature vazduha u pet prostorija na spratu, što je prikazano na slici 2 (slovo T u kvadratu). Takođe je merena spoljna temperatura u neposrednoj blizini zgrade.

Za merenu zgradu izvršen je proračun energetske potrebe u grejnom periodu (jedan od rezultata prve godine rada na projektu), koji je pokazao da je kotao od 24 kW u mogućnosti da obezbedi propisane temperature u prostorijama (20°C) samo do spoljne temperature od 1°C (SPT). Za niže SPT, temperature u prostorijama su bile niže od propisanih.

Više informacija o merenoj zgradi, mernoj opremi i sprovedenim proračunima može se naći u godišnjim izveštajima projekta NPEE243001.

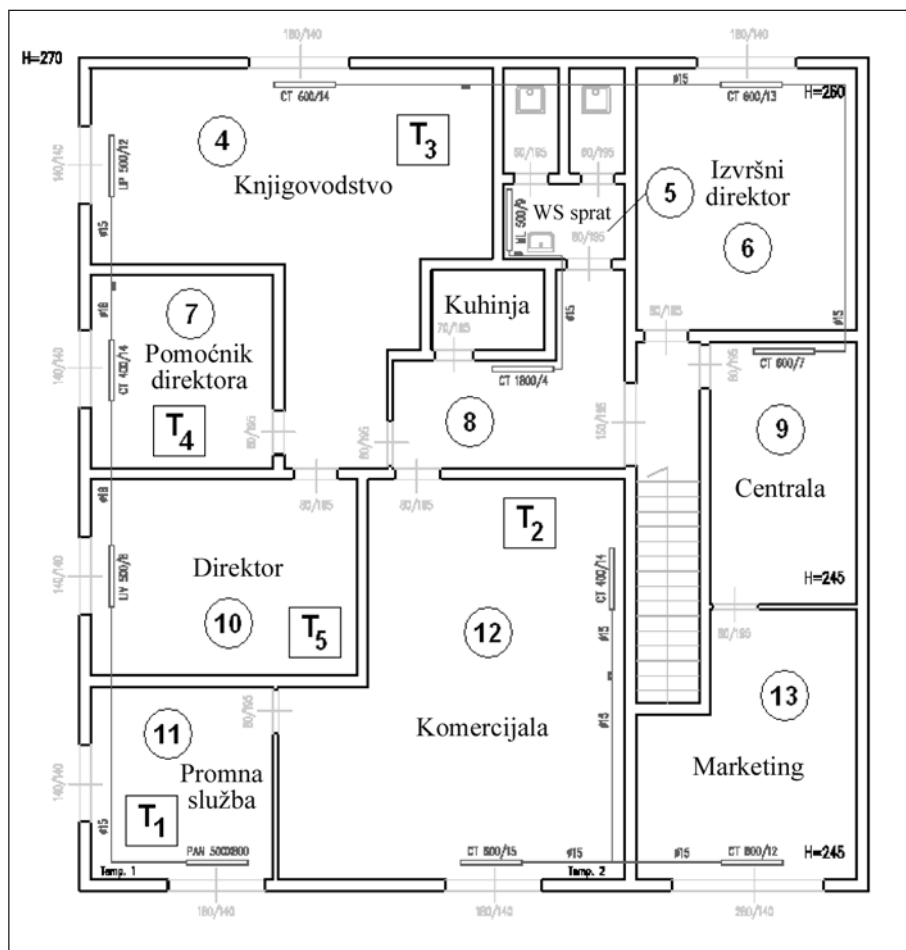


Slika 1. Prizemlje merene zgrade

### 3. Merenja u pilot-zgradi tokom tri grejne sezone

U toku prve grejne sezone (2006/07), u merenoj (pilot) zgradi vršena su svakodnevna merenja potrošnje toplotne energije, temperature vode, spoljnog vazduha i vazduha u prostorijama, počev od 1.12. pa do 5.4. naredne godine. Sva merenja su spro-

vođena prema prethodno utvrđenoj proceduri i prema sačinjenom formularu. Na slici 3 je prikazan jedan od karakterističnih dijagrama, formiran na osnovu dobijenih mer-nih podataka, tokom prve grejne sezone.

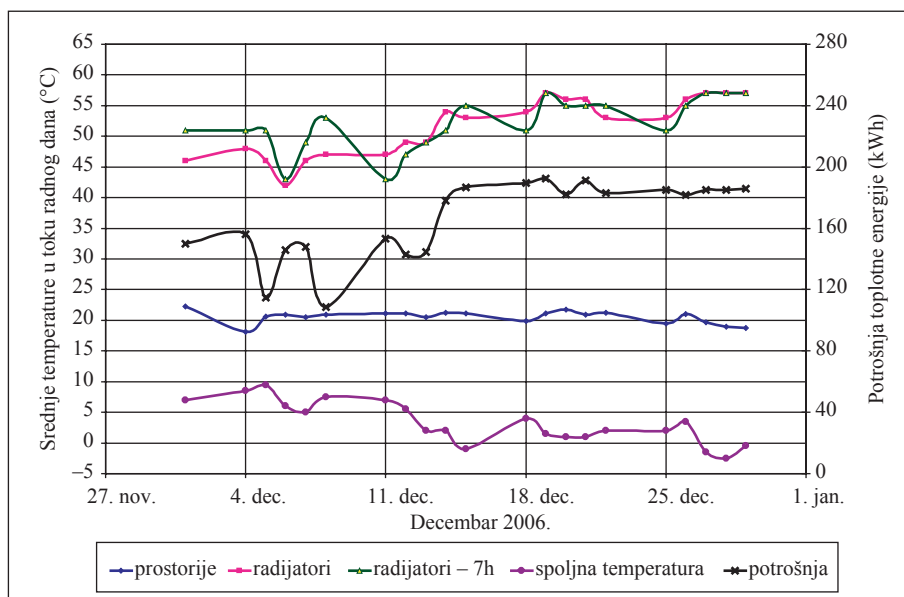


Slika 2. Prvi sprat merene zgrade; legenda uz slike 1 i 2: 1. kancelarija – prizemlje, 2. kuhinja – prizemlje, 3. WC – prizemlje, 4. knjigovodstvo, 5. WC – I sprat, 6. izvršni direktor, 7. pomoćnik direktora, 8. pretkancelarijski prostor, 9. centrala, direktor, 11. pravna služba, 12. komercijala, 13. marketing, 14. radionica – 1

Na slici 3 može se videti da značajniji porasti spoljne temperature snažno utiču na smanjenje potrošnje energije, pošto je kotao radio u on-off režimu, prema zadatoj izlaznoj temperaturi vode iz kotla. U slučajevima niskih spoljnih temperatura (oko 0°C i niže), kotao je radio uglavnom neprekidno, što se odražavalo na više-manje ujednačenu potrošnju toplotne energije. Ova činjenica je bila od posebnog značaja pred naredne grejne sezone.

Po završenoj grejnoj sezoni pristupilo se zameni radijatora. Prema planu zamenje radijatora u merenoj zgradi, bilo je potrebno demontirati stare radijatore i postaviti nove koji bi imali prosečno 20% veći toplotni učinak od postojećih.

Prethodno postavljeni radijatori u merenoj zgradi bili su različitih tipova, od različitih materijala, različitih proizvođača i različitih toplotnih učinaka (od čeličnog liva, čelični, aluminijumski, panelni, rebrasti, lamelasti). Zbog lakšeg sprovođenja ugradnje i kasnijeg merenja, odlučeno je da svi novi radijatori za ugradnju budu istog tipa i modela i to CINI KOMPAKT, tip 600 (toplotni učinak rebra = 174,5 W).



Slika 3. Promene srednje spoljne i unutrašnje temperature, temperature u radiatorima (srednje i u 7:00), kao i potrošnje toplotne energije u toku osmočasovnog radnog vremena, u merenoj zgradi za mesec decembar 2006.

Zbog malog broja rebara novih radijatora, nije se moglo tačno podesiti da uvećanje toplotnog učinka radijatora bude 20%. Sa druge strane, ogromni panelni radijator u radionici (prostorija 14), nije mogao biti zamenjen zbog nedostatka prostora i specifičnosti ugradnje. Ukupno, realno ostvareno uvećanje toplotnog učinka radijatora u merenoj zgradi iznosilo je 16,5%.

Po zameni radijatora u pilot-zgradi, u grejnoj sezoni 2007/08. izvršena su merenja istih parametara, po identičnoj proceduri kao i prethodne grejne sezone, u istom periodu (od 1.12. do 5.4).

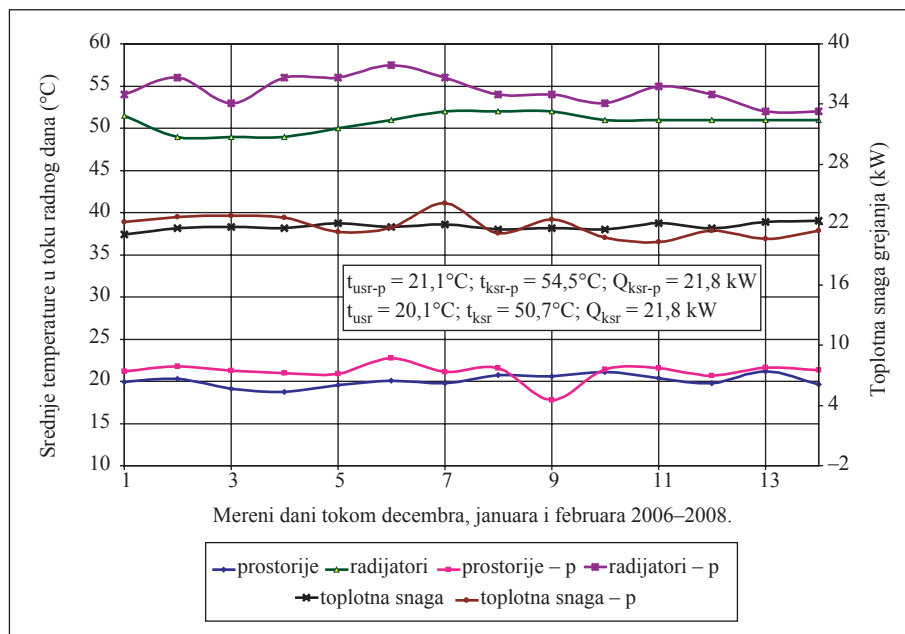
Kako je u prve dve grejne sezone uočeno da su temperature vazduha po prostorijama bile veoma neujednačene, iznad i ispod željenog nivoa, odlučeno je da se pre sledeće grejne sezone na svim radiatorima ugrade termostatski ventili, što bi ujednačilo temperaturu i povisilo temperaturnu razliku razmene toplote u većini prostorija.

Po ugradnji termostatskih ventila na svim zamenjenim radiatorima u pilot-zgradi, u grejnoj sezoni 2008/09. izvršena su merenja istih parametara, po identičnoj proceduri kao i prethodne dve grejne sezone, u istom periodu (od 1.12. do 1.4).

#### 4. Analiza dobijenih rezultata i efekti sprovedenih izmena u pilot zgradi

Prema dobijenim mernim podacima, osim kraćih perioda, nije se moglo sa dovoljnom tačnošću pratiti kretanje temperatura vode u radiatorima, jednostavnim preklapanjem meseci u tri grejne sezone, uz uslov da su ostali uporedni parametri na približno istom nivou (snaga kotla i temperature u prostorijama). Najinteresantniji periodi za poređenje, kada je kotao radio kontinualno (najhladniji grejni dani) bili su veoma kratki i retko su se preklapali, posmatrano za tri grejne sezone. Pristupilo se analizi dobijenih rezultata korišćenjem selektovanih (filtriranih) podataka. Izdvajanjem mernih tačaka, kada je srednja snaga kotla u toku grejnog dana bila na približnom maksimumu (neprekidni rad kotla), u tri najhladnija meseca, decembru, januaru i februaru, u tri grejne sezone, dobijeni su podaci pogodni za razmatranje.

Na slici 4 prikazani su selektovani podaci za prvu i drugu grejnu sezonu (2006/07 i 2007/08), kada se srednja snaga kotla ( $Q_k$ ), tokom grejnog dana, kretala u opsegu od 20 kW do 23 kW. Oznakom (*p*) obeleženi su podaci prve grejne sezone (zgrada sa starim radiatorima).



Slika 4. Selektovani, uporedni merni podaci ( $20 < Q_k < 23$  kW), za grejne sezone 2006/07. i 2007/08.

Sa ovako selektovanim podacima (uporednih 14 mernih tačaka), dolazi se do podatka da je prosečno sniženje srednje temperature vode u radiatorima bilo za 3,8°C.

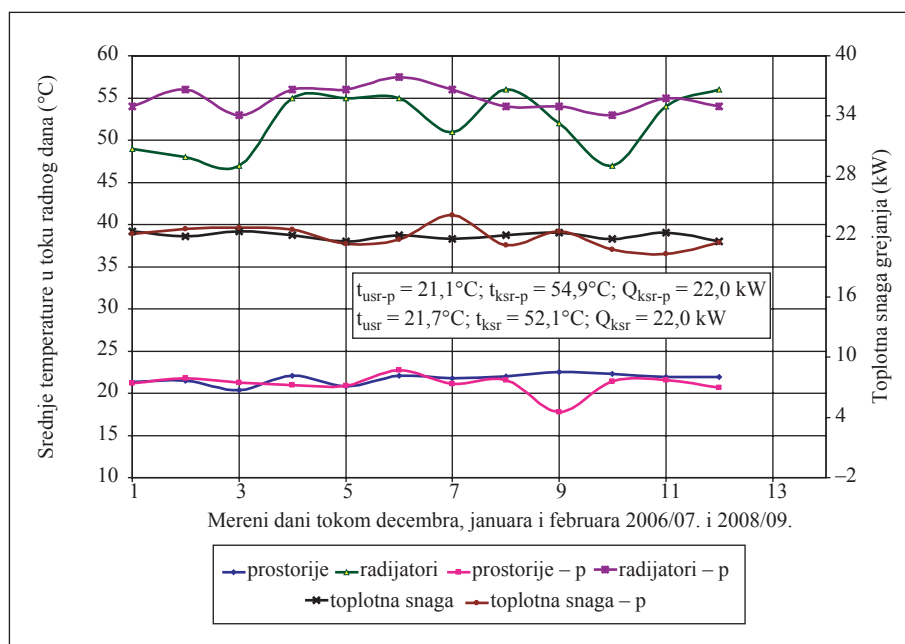
Razlike između prosečnih toplotnih snaga kotla sada nema, a razlika srednjih unutrašnjih temperatura postoji i iznosi 1,0°C. Toplotna snaga kotla približno iznosi (zanemarivanje gubitaka):

$$Q_k = A_r K_r (t_{ksr} - t_{usr}) \quad (1)$$

gde su:  $Q_k$  (W) prosečna snaga kotla,  $A_r$  ( $m^2$ ) površina radijatora,  $K_r$  ( $W/m^2K$ ) koeficijent prolaza toplote radijatora,  $t_{ksr}$  ( $^{\circ}C$ ) srednja temperatura vode u radijatorima i  $t_{usr}$  ( $^{\circ}C$ ) srednja unutrašnja temperatura.

Dakle, još jedno približenje realnim efektima uvećanja površine radijatora došlo bi se kada bi se razlika unutrašnjih temperatura dveju posmatranih grejnih sezona oduzela od razlike temperatura vode u radijatorima  $\Delta t_{ksr} = \Delta t'_{ksr} - \Delta t_{usr} = \Delta t'_{ksr} - (t_{usr-p} - t_{usr}) = 3,8 - 1 = 2,8^{\circ}C$ .

Na slici 5 prikazani su selektovani podaci za prvu i treću grejnu sezonu (2006/07. i 2008/09), kada se srednja snaga kotla ( $Q_k$ ), tokom grejnog dana, kretala u opsegu od 20 kW do 23 kW. Oznakom (p) obeleženi su podaci prve grejne sezone (zgrada sa starim radijatorima).



Slika 5. Selektovani, uporedni merni podaci ( $20 < Q_k < 23$  kW), za grejne sezone 2006/07. i 2008/09.

Sa ovako selektovanim podacima (uporednih 12 mernih tačaka), dolazi se do podatka da je realno, prosečno, sniženje srednje temperature vode u radijatorima bilo za  $\Delta t_{ksr} = \Delta t'_{ksr} - (t_{usr-p} - t_{usr}) = 2,8 - (-0,6) = 3,4^{\circ}C$ .

Ako izvršimo uprošćenu pretpostavku da 16% uvećanja površine radijatora izaziva 16% smanjenja razlike temperatura voda-prostorije, a prema jednačini (1), došlo bi se do iznosa od  $\Delta t_{ksr} = (t_{ksr} - t_{usr}) 0,16 = (50 - 20) 0,16 = 4,8^{\circ}C$ .

Objašnjenje za razliku između eksperimentalno dobijenog sniženja temperature ( $3,4^{\circ}C$ ) i teorijskog, uprošćenog ( $4,8^{\circ}C$ ) može se naći u sledećem:

– U suštini radijatorska tela nisu jedine površine sa kojih se odaje toplota prostorijama. Neizolovana instalacija sekundarne mreže u prostorijama (grejanim i negre-

janim), takođe odaje određenu količinu toplote. Kako cevna instalacija nije menjana, ukupan procenat uvećanja veličine  $A_r$  u jednačini (1) manji je od 16%.

– U okviru pilot-zgrade postoji radionica (prostorija 14, slika 1), koja je relativno velikih dimenzija, a u kojoj su, zbog stalnog otvaranja velikih metalnih vrata, infiltracioni gubici veliki i teško predvidljivi (dnevni i mesečni).

– Uvećanjem površine radijatora, ne uvećava se linearno i toplotna snaga koju odaju. Zbog graničnih efekata razmene toplote, radijatori sa manjim brojem rebara uvek odaju veću toplotnu snagu, nego što bi se proračunom dobilo (množenje toplotnog učinka po rebro sa njihovim brojem).

Prema rečenom, realni efekti uvećanja površine radijatora nešto su manji od proračunskih. Najznačajniji doprinos merenja u trećoj godini realizacije projekta je taj što se ugradnjom termostatskih ventila srednja temperatura vode snizila za dodatnih  $0,6^{\circ}\text{C}$ .

Analize merenja druge godine realizacije projekta pokazale su da se uvećanjem površine radijatorskih tela za 16%, u mernoj zgradi postiglo smanjenje srednje temperature grejne vode za  $2,8^{\circ}\text{C}$ . Ugradnjom termostatskih ventila ovo smanjenje je uvećano na  $3,4^{\circ}\text{C}$ . Definisano izmenom sprečeno je neravnomerno zagrevanje prostorija i povećana temperaturna razlika topla voda–vazduh u prostoriji.

Ukoliko se pretpostavi razlika temperatura vode u sekundarnom cevovodu i vazduha u negrejanim prostorijama kao  $55 - 10 = 45^{\circ}\text{C}$  i ako se usvoji postignuto sniženje srednje temperature vode od  $3,4^{\circ}\text{C}$ , to iznosi približno 7,6% od definisane razlike. Ako su ostali faktori razmene toplote u negrejanim prostorijama nepromenjeni (koeficijenti prolaza toplote, površine odavanja), to znači smanjenje transportnih gubitaka u sekundaru za 7,6%. Ako oni iznose kao u slučaju merne zgrade oko  $1,5 \text{ W/mK}$  (neizolovana cev, prečnika 50 mm), uštede iznose oko  $5,1 \text{ W/m}$ . U zavisnosti od dužine sekundarnog cevovoda u negrejanim prostorijama i njegovog stanja (izolovan, neizolovan), definisane uštede u apsolutnom iznosu mogu biti veće ili manje.

Što se primarnog cevovoda tiče, smanjenje srednje temperature u sekundaru za  $3,4^{\circ}\text{C}$  izaziva isto smanjenje srednje temperature u primaru. Smatra se da su primar i sekundar povezani razmenjivačem toplote. Kako su protoci u primarnom vodu podstanice redovno manji od onih u sekundarnom toku, i kako su samim tim padovi temperatura u primarnom vodu značajno veći, pad temperature od  $3,4^{\circ}\text{C}$  u sekundarnom toku izazvaće i veći prosečni pad srednje temperature u primarnom toku (logaritamska razlika temperatura). Gubici u primarnom (i sekundarnom) cevovodu  $Q_{gc}$  (W) jednostavno se izračunavaju kao:

$$Q_{gc} = L_c K_c (t_{wc} - t_{vc}) \quad (2)$$

gde su:  $L_c$  (m) dužina cevovoda,  $K_c$  (W/mK) koeficijent prolaza toplote po metru dužnom cevovoda,  $t_{wc}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) srednja temperatura vode u cevovodu i  $t_{vc}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) srednja temperatura vazduha u kanalu cevovoda (jednačina je drugačija ako se radi o predizolovanim cevima postavljenim direktno u zemlji). Ukoliko se definisana srednja razlika temperatura usvoji kao  $t_{wc} - t_{vc} = 80 - 10 = 70^{\circ}\text{C}$ , ušteda na transportnim toplotnim gubicima u primaru, pri ostvarenom sniženju temperature, iznosi 4,9%. U realnim varijantama ona bi mogla da se kreće od 3,5% do 6,5%. Ukoliko se realni gubici na primarnom cevovodu kreću od  $20 \text{ W/m}$  do  $40 \text{ W/m}$ , ostvarene uštede iznose od  $1 \text{ W/m}$  do  $2 \text{ W/m}$ .



## 5. Zaključak

Uvećanjem postojećih radijatora u zgradi, grejanoj sistemom daljinskog grejanja, moguće je ostvariti značajno smanjenje transportnih gubitaka toplotne energije. Realni procenat sniženja srednje temperature vode je redovno manji od procenta uvećanja površine radijatora.

Za konkretno uvećanje površine radijatora za 16% u pilot-zgradi i ugradnju termostatskih ventila, ostvareno je sniženje srednje temperature vode u radijatorima za 3,4°C, a za nepromenjene energetske zahteve objekta. U realnim uslovima, efekti uštede se kreću od 5,1 W/m na neizolovanom sekundarnom cevovodu, do 1–2 W/m na izolovanom primarnom cevovodu sistema daljinskog grejanja.

U zavisnosti od cene energije i visine investicije u zamenu radijatora ili startnog uvećanja, ukoliko se radi o novim objektima, može se odrediti vreme isplativosti željenih izmena.

## 6. Literatura

- [1] **Recknagel, H., E. Sprenger, W. Hönnmann**, *Grejanje i klimatizacija*, šesto izmenjeno i dopunjeno izdanje, Interklima, Vrnjačka Banja (2004).
- [2] **Adamo, I., G. Cammarata, A. Fichera, L. Marletta**, *Improvement of a district network through thermo-economic approach*, *Renewable Energy* 10 (2–3) (1997) 213–216.
- [3] **Baker, D. K., S. A. Sherif**, *Heat transfer optimization of a district heating system using search methods*, *International Journal of Energy Research*, 21 (1997), 233–252.
- [4] **Benonysson, A., B. Bohn, H. F. Ravn**, *Operational optimization in a district heating system*, *Energy Conversion Management* 36 (5) (1995), 297–314.
- [5] **Bohn, B.**, *On transient heat losses from buried district heating pipes*, *International Journal of Energy Research* 24 (2000) 1311–1334. 2163–2173.
- [6] **Bojić, M., N. Trifunović, S. I. Gustafsson**, *Mixed 0–1 sequential linear programming optimization of heat distribution in a district-heating system*, *Energy Building* 32 (2000) 309–317.
- [7] **Çomaklı, K., B. Yüksel, Ö. Çomaklı**, *Evaluation of energy and exergy losses in district heating network*, *Applied Thermal Engineering* 24 (2004) 1009–1017.
- [8] **Gustavsson, L.**, *District heating systems and energy conservation*, *Energy* 19 (1) (1994) 81–91.
- [9] **Madsen, H., K. Sejling, K., H. T. Søgaard, O. P. Palsson**, *On flow and supply temperature control in district heating systems*, *Heat Recovery Systems CHP* 14 (6) (1994) 613–620.
- [10] **Nielsen, H. A., H. Madsen**, *Modelling the heat consumption in district heating systems using a grey-box approach*, *Energy and Buildings* 38 (2006) 63–71.
- [11] **Radivojević, P., N. Lukić**, *Uticaj sniženja temperature grejnog fluida sistema centralnog grejanja na potrošnju energije*, 39. kongres o KGH, zbornik radova, SMEITS, Beograd, 2008, st. 382–391.

kgH