

ISPITIVANJE PERFORMANSI RAZMENJIVAČA TOPLOTE – JEDAN OD METODA ZA PODIZANJE KVALITETA DALJINSKOG GREJANJA

TESTING OF HEAT EXCHANGER PERFORMANCE –
A METHOD FOR IMPROVING DISTRICT
HEATING OPERATION

**Prof. dr Branislav Jaćimović, dipl. inž.,
mr Srbislav Genić, dipl. inž., Mašinski fakultet, Beograd,
i mr Predrag Zekonja, dipl. inž. i Vladimir Korać, dipl. inž.,
JKP „Beogradske elektrane”, Beograd**

U radu se razmatraju mogućnosti za poboljšanje kvaliteta u sistemima daljinskog grejanja ispitivanjem toplotnih performansi i pada pritiska razmenjivača toplote u toplanama i toplotnim podstanicama. Ova vrsta ispitivanja se kroz saradnju JKP „Beogradske elektrane” i Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu sprovodi već 11 uzastopnih grejnih sezona. U okviru ove saradnje ispitano je više desetina aparata (dobošasti razmenjivači sa pravim i helikoidnim cevima i pločasti razmenjivači) većeg broja proizvođača. Na osnovu rezultata ispitivanja utvrđene su praktične preporuke koje mogu pomoći projektantima, isporučiocima razmenjivača i preduzećima za distribuciju toplotne energije, u cilju poboljšanja funkcionisanja sistema grejanja. Razmotrena je i tehnička regulativa u ovoj oblasti.

This paper deals with possibilities to improve the operation quality of the district heating systems by testing heat performances and the heat exchanger's pressure drop within the thermal plants and substations. Such tests have been conducted by joint efforts of the public utility company „Belgrade Power Plant” and the Faculty of Mechanical Engineering, for the successive eleven heating seasons. The testing included dozens of heat exchangers (shell and tube heat exchangers with straight and helical tubes, and plate heat exchangers), produced by various manufacturers. Based upon the obtained results, some practical recommendations have been established, which may be useful to designers, heat exchangers' manufacturers and heating power distributors for the improvement of the heating system operation. The topic-related technical regulations have also been considered.

Ključne reči: daljinsko grejanje; razmenjivač toplote; ispitivanje performansi; kvalitet grejanja

Key words: heat exchanger; district heating; performances testing; heating quality

1. Uvod

Daljinsko grejanje je, prema analizama stručnjaka koji se bave grejanjem, najjeftiniji vid grejanja, kojim mogu biti obuhvaćeni objekti različite namene. U našoj zemlji se više decenija razvija i proširuje mreža korisnika sistema daljinskog grejanja, u većem broju gradova.

Sistem daljinskog grejanja podrazumeva postojanje odgovarajućih podsistema (toplane/energane, magistralni cevovodi, predajne stanice, kućne instalacije itd.), od čijeg funkcionisanja zavisi i kvalitet rada celokupnog sistema. Izgradnja sistema daljinskog grejanja je povezana sa velikim investicionim troškovima, pa je razumljivo što se tehničkoj i ekonomskoj problematici vezanoj za ovu oblast posvećuje velika pažnja, kako kroz naučne i stručne radove, tako i pri projektantskom radu, izvođenju objekata i eksploataciji.

Predajne stanice (toplotne podstanice) sistema daljinskog grejanja predstavljaju podsistem čija je uloga da, na adekvatan način, razmene toplotu između primarnog i sekundarnog fluida. U ovim stanicama postoje uređaji (mašine, aparati, prateća oprema) čiji je zadatak da obezbede odgovarajući protok vode u sistemu (regulatori protoka, pumpe, merači protoka, razdelnici, sabirnici itd.) i odgovarajuću razmenu toplote u indirektnim sistemima (razmenjivači toplote).

Iako od razmenjivača toplote u predajnim stanicama u značajnoj meri zavisi toplotna funkcija sistema, njima do pre nekoliko godina nije posvećivana adekvatna pažnja. Uzrok ovoj pojavi je njihova relativno niska cena u odnosu na ukupnu investiciju, što se može pokazati na sledećem primeru. Za stambeni objekat od 5500 m², pri savremenim uslovima građenja (gubici toplote oko 110 W/m²), potrebna toplotna snaga razmenjivača toplote u predajnoj stanici je 600 kW, pri spoljnoj projektnoj temperaturi. Prema sadašnjem stanju na tržištu (mart 1999), cena pločastog razmenjivača toplote ove snage (površine 14 m²) iznosi oko 8.200 DEM, a odgovarajućeg dobošastog razmenjivača sa pravim cevima, površine 64 m², je oko 14.000 DEM. Radijatorsko grejanje za ovakav objekat podrazumeva ugradnju oko 3300 rebara, čija je cena oko 55.000 DEM. Poređenjem ovih investicionih troškova, dolazi se do zaključka da je cena razmenjivača toplote znatno niža čak i od cene samih radijatora. Sa druge strane, ukupna cena instalacije grejanja za ovakav objekat iznosi oko 275.000 DEM, pa investiciona cena razmenjivača toplote iznosi 3÷5% od ove cene, odnosno praktično je zanemarljiva u ukupnoj proizvodnoj ceni objekta (oko 3.000.000 DEM).

Proizvod ovakvih odnosa cena je situacija u kojoj na tržištu postoji veliki broj proizvođača/isporučilaca razmenjivača toplote različitih tipova, od onih koji su vrlo dobrog kvaliteta, pa do razmenjivača koji nemaju čak ni kompletnu tehničku dokumentaciju. Bez obaveze stavljanja u odnos ponudjenog kvaliteta i cene, investitori su se vrlo često opredeljivali za najjeftiniju varijantu. Treba pomenuti da je ovakvom stanju kumovala i tehnička regulativa, koja je u ovoj oblasti vrlo skromna, a često se i ne primenjuje na adekvatan način.

Institut za procesnu tehniku i termotehniku Mašinskog fakulteta u Beogradu poslednjih jedanaest godina radi u oblasti ispitivanja toplotnih performansi i pada pritisaka razmenjivača toplote u sistemu daljinskog grejanja. Ova delatnost se u Beogradu obavlja u saradnji sa Grupom za merenje, regulaciju, nadzor i tehničke preglede i Sektorom investicija preduzeća JKP „Beogradske elektrane”. Kroz ovu saradnju, do sada je na terenu ispitano više desetina aparata. Takođe treba istaći i saradnju ove dve kuće pri izradi tehničke regulative u ovoj oblasti (Tehnički uslovi za projektovanje postrojenja za prenos i isporuku toplotne energije, JKP „Beogradske elektrane”, Beograd, 1996).

2. Značaj ispitivanja performansi razmenjivača toplote

U inženjerskoj praksi, životni vek određenog uređaja (aparata, mašine) podrazumeva sledeće faze: razvoj, dimenzionisanje i izradu tehničke dokumentacije, izradu uređaja, proveru funkcionalnosti po izradi, ugradnju u odgovarajući složeni sistem, proveru funkcionalnosti po ugradnji, održavanje itd. U razvijenim zemljama za svaku od ovih faza postoji razvijena tehnička regulativa, kao i stručne službe koje ih nadgledaju. Za zemlje sa nedovoljno razvijenim sistemom za praćenje svih ovih faza, karakteristično je da se izostavljaju, ili se ne sprovode u dovoljnom obimu provere funkcionalnosti uređaja, mada je njihova važnost veoma velika, jer se uočene greške mogu ispraviti, čime se obezbeđuje pouzdan rad celog sistema, odnosno ostvarivanje dobiti.

Za konkretan slučaj razmenjivača toplote provera funkcionalnosti ima tri etape:

1. provera na ispitni pritisak kojom se utvrđuje kvalitet izrade aparata sa gledišta opasnosti po okolinu;
2. provera toplotne funkcije aparata odnosno utvrđivanje stvarnih parametara razmene toplote između radnih fluida;
3. provera pada pritiska za oba radna fluida.

Ako se provera vrši po izradi aparata, mogu se utvrditi eventualne greške nastale u fazama dimenzionisanja i izrade razmenjivača, koje se u određenom broju slučajeva mogu ispraviti (npr. problemi vezani za zavarivanje, obilazne struje usled prevelikih zazora, curenje odnosno loše zaptivanje itd.).

Proverom po ugradnji aparata može se utvrditi dejstvo rada aparata na rad celokupnog sistema (npr. uticaj na protoke i rad drugih aparata i mašina). Po okončanju ovakvih ispitivanja mogu se utvrditi „uska grla” sistema, pa se mogu i preduzeti odgovarajuće aktivnosti na poboljšanju njegovog rada.

3. Procedura ispitivanja performansi razmenjivača toplote

U našoj tehničkoj regulativi nema adekvatnih standarda za ispitivanje razmenjivača toplote. Standard JUS M.E5.100, pod nazivom „Razmenjivači toplote: Osnove za određivanje toplotnog bilansa primarnih kola napajanih vodom ili parom”, sadrži neke elemente potrebne za sprovođenje ispitivanja razmenjivača toplote, ali ima i ozbiljne nedostatke. Zbog toga se za ispitivanja razmenjivača može preporučiti grupa evropskih standarda, koje pri ispitivanjima primenjuju i autori.

Ova grupa standarda daje preporuke za pripremu i prezentaciju postupaka ispitivanja performansi razmenjivača toplote, a koje su od važnosti za proizvođača, prodavca, kupca, korisnika i stručnu instituciju koja obavlja ispitivanja. Pored toga, u ovim standardima su definisani opšti termini i postupci proračuna koji se koriste pri utvrđivanju performansi razmenjivača toplote, uključujući i odgovarajuće teorijske osnove. Primena ovih standarda je moguća za nove (nekorišćene), ali i za aparate koji su u eksploataciji. Odredbe standarda pružaju proizvođaču odnosno prodavcu aparata informacije o načinu prezentacije performansi razmenjivača toplote, a kupcu odnosno korisniku informacije neophodne za izbor aparata.

Metodi ispitivanja razmenjivača toplote zavise od cilja ispitivanja i mogu se klasifikovati u tri kategorije:

– tipsko ispitivanje novog razmenjivača toplote predstavlja ispitivanje jednog aparata koji se može proizvoditi u više veličina. Tipsko ispitivanje se vrši laboratorij-ski za aparat iz serijske ili masovne proizvodnje;

– ispitivanje prihvatljivosti novog razmenjivača toplote je ispitivanje jednog aparata, izrađenog za specifičnu namenu. To ispitivanje se vrši za serijski ili pojedinačno proizvedene razmenjivače i može se obaviti u laboratoriji ili na mestu ugradnje;

– ispitivanje performansi razmenjivača toplote u radu se obično obavlja na mestu ugradnje aparata. Može biti slično ispitivanju prihvatljivosti, kada su potrebni detaljni podaci o toplotnim i strujnim performansama.

U svakom od ovih slučajeva zainteresovane strane moraju da postignu dogovor o tome kakva ispitivanja, kojih performansi i u kom obimu zadovoljavaju njihove potrebe. Izvršenje ispitivanja i analiza rezultata može biti poverena samo instituciji koja može da obezbedi odgovarajuću stručnost.

Osnovni uslov ispitivanja performansi je da se postignu radni parametri (protoci, temperature, pritisci), bliski deklarisanim odnosno dogovorenim između prodavca i kupca aparata. Ovaj uslov se često ne može zadovoljiti, kako pri ispitivanjima u laboratoriji, tako i pri ispitivanjima na mestu ugradnje, pa se u takvim slučajevima dozvoljava da se ispitivanja obave pri radnim uslovima što približnijim deklarisanim, a zatim se vrši procena performansi aparata pri deklarisanim uslovima.

Radi ispitivanja performansi razmenjivača toplote potrebno je vršiti merenja sledećih (nije obavezno svih) veličina:

- temperatura radnih fluida na ulazu i na izlazu iz aparata;
- protoka radnih fluida;
- pritisaka radnih fluida;
- padova pritisaka radnih fluida.

Da bi se pri ispitivanjima dobili relevantni podaci, potrebno je sprovesti pripremu mernih mesta prema zahtevima evropskih standarda za metode merenja temperatura, protoka, pritisaka i padova pritisaka. Za merenje temperatura predviđene su sledeće vrste termometara: dilatacioni termometri sa tečnostima, termoelementi i električni otporni termometri. Merenja protoka je moguće vršiti pomoću više uređaja odnosno principa: volumetrijsko merenje, merenje razlike statičkih pritisaka, merenje dinamičkog pritiska, pomoću turbinskog merača, trasera za tečnost/gas, merača vrtložnog traga, rotametara, merenjem sile otpora, anemometara, doplerovog merača frekvencije, toplotnog merača masenog protoka, merača protoka na bazi kinetičkog momenta ili pomoću koriolisovog merača. Za merenje pritiska odnosno razlike pritisaka koriste se: manometar sa U-cevi i različiti tipovi pretvarača pritiska, na bazi elastičnih svojstava materijala pretvarača. U standardima su definisane statičke i dinamičke greške, koje se mogu javiti pri merenjima, kao i načini za njihovo otklanjanje.

Sva merenja treba vršiti pri stacionarnim radnim režimima, što znači da su:

- svi merni parametri stabilizovani (u okviru određenih granica prihvatljivosti);
- sopstveno zagrevanje (hlađenje) merne i pomoćne opreme izvršeno;
- razmena toplote između razmenjivača toplote i okoline stabilizovana.

Pored ovih uslova, propisana je potreba merenja protoka oba radna fluida kao i njihovih temperatura na ulazu i izlazu iz aparata. Na bazi ovih 6 veličina, moguće je utvrditi količine toplote (u jedinici vremena) koje se razmene sa strane primarnog i sekundarnog fluida. Zbog grešaka u merenju i nestacionarnosti, ove dve količine toplote se u opštem slučaju razlikuju, tako da se kao relevantna prihvataju merenja kada je ova razlika u prihvatljivim granicama. Pored uslova stacionarnosti, moraju biti ispunjeni i uslovi ponovljivosti i reproduktivnosti merenja.

Vreme potrebno za postizanje stacionarnog stanja zavisi od: veličine mernog objekta i pomoćne opreme, toplotnih kapaciteta objekta merenja i medijuma, performansi pomoćne opreme i regulacionog sistema (ako postoji). Frekvenciju očitavanja ili vreme između dva uzastopna očitavanja treba odabrati tako da se može pratiti promena stanja fluida, pa se u tom smislu preporučuje sledeća jednačina za određivanje vremenskog intervala između dva uzastopna očitavanja:

$$\Delta\tau = \frac{M}{10 \cdot m}, \text{ s}$$

gde je M , kg, ukupna masa medijuma u sistemu, a m , kg/s, maseni protok. Ova vrednost odgovara broju od deset očitavanja za vreme za koje ukupna masa medijuma protokne kroz sistem.

Merenja se obavljaju dok se ne dobiju statistički zadovoljavajući rezultati. Performanse razmenjivača toplote se iskazuju pomoću veličina koje se mogu odrediti merenjem, ili izračunavanjem na osnovu izmerenih vrednosti: toplotne snage, protoka fluida, temperature, temperaturske razlike, pritisaka, padova pritisaka, koeficijenta prelaza/prolaza toplote. U okviru ovih ispitivanja moguće je utvrđivanje stanja površine za razmenu toplote u pogledu korozije i zaprljanja. U slučaju ispitivanja novih (nekorišćenih odnosno nezaprljanih) aparata, zainteresovane strane se moraju dogovoriti o veličinama faktora vezanih za koroziju i zaprljanje, radi adekvatne prezentacije rezultata ispitivanja.

4. Zaključci koji proizilaze iz ispitivanja i preporuke

Autori rada su u poslednjih jedanaest godina izvršili ispitivanja više desetina razmenjivača toplote za sisteme daljinskog grejanja u našoj zemlji i u zvaničnoj formi izdali izveštaje o ponašanju 49 aparata. Ovim ispitivanjima obuhvaćene su 33 predajne stanice sa 41 razmenjivačem toplote i 3 razmenjivačke stanice u toplanama/energanim sa 8 aparata (od toga su 2 kondenzatora). Gledano po tipovima aparata (12 proizvođača/isporučilaca), ispitano je 6 pločastih razmenjivača, dok su ostali bili dobošasti (34 sa pravim cevima i 9 sa helikoidnim cevima).

Na osnovu analize rezultata ispitivanja, mogu se doneti zaključci o:

- prihvatljivosti aparata za konkretnu instalaciju u pogledu toplotne snage i pada pritisaka,
- veličini otpora provođenju toplote usled zaprljanja za konkretnu instalaciju;
- kvalitetu izrade razmenjivača, pre svega u pogledu obilaznih struja unutar aparata,
- kvalitetu odnosno funkcionalnosti druge opreme vezane za rad razmenjivača (pumpe, zaporni organi itd.).

Na osnovu sprovedenih ispitivanja, opšte preporuke za proizvođače razmenjivača su:

- koristiti suprotnosmerno strujanje u aparatu, kada god je moguće;
- proizvoditi aparate sa što manjim brojem prolaza fluida kroz razmenjivač, jer se pogotovo kod dobošastih razmenjivača javljaju problemi sa obilaznim strujama, koje ne učestvuju u razmeni toplote;
- pri dimenzionisanju aparata obavezno uzeti u obzir otpore provođenju toplote usled zaprljanja utvrđene za slične uslove rada. Ako nema podataka, sa konkretne lokacije mogu se koristiti sledeće (merenjem utvrđene) vrednosti: za dobošaste razmenjivače sa pravim cevima $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{kW}$, kod dobošastih sa spiralnim cevima $0,4$

$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{kW}$, kod pločastih razmenjivača do $0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{kW}$ (prosečne vrednosti date zbirno za oba radna fluida);

– za veće toplotne snage povoljnije je koristiti rednu vezu razmenjivača umesto paralelne.

5. Zaključak

Problemi vezani za ispitivanje performansi razmenjivača toplote izazivaju veliko interesovanje stručne javnosti, tako da su u razvijenim zemljama standardima propisane procedure ispitivanja. U oblasti daljinskog grejanja u našoj zemlji ispitivanja se vrše duži niz godina, uprkos nedostacima tehničke regulative u ovoj oblasti. Na osnovu analize rezultata ovih ispitivanja, može se konstatovati da je veći broj ispitivanih razmenjivača poddimenzionisan u odnosu na deklarisanе podatke i da je manjak u toplotnoj snazi obično do 10%, ali ima slučajeva kada je manjak iznosio i preko 30%. Pozitivan trend je svakako što je veći broj proizvođača aparata prihvatio sugestije i radi na otklanjanju utvrđenih nedostataka.

Na osnovu napred iznetih podataka jasno je da se i razmenjivačima toplote u sistemu daljinskog grejanja mora posvetiti dužna pažnja, s obzirom da je dobro funkcionisanje celokupnog sistema daljinskog grejanja uslovljeno i dobrom funkcijom razmenjivača toplote, kao jednog od njegovih podsistema.

Literatura

- [1] Jaćimović, B., S. Genić, N. Nikolić, D. Klarić, D. Tegeltija: *Procedura proračuna razmenjivačkih stanica u sistemu daljinskog grejanja*, IV stručni skup o opremi u procesnoj industriji, Beograd, 1990.
- [2] Jaćimović, B., S. Genić: *Određivanje radnih performansi dobošastih razmenjivača toplote u sistemu daljinskog grejanja*, 22. kongres o KGH, SMEITS, Beograd, 1991.
- [3] Jaćimović, B., S. Genić: *Toplotne operacije i aparati*, Mašinski fakultet, Beograd, 1992.
- [4] Jaćimović, B., S. Genić: *Heat Exchangers in District Heating – Selection, Arrangement and Performance Prediction – Experiences from Belgrade*, 4th National Conference on Thermotechnics, Timisoara, Rumunija, 1994.
- [5] Jaćimović, B., S. Genić, R. Milenković, V. Korać: *Ispitna stanica za atestiranje razmenjivača toplote za sistem daljinskog grejanja*, 25. kongres o KGH, SMEITS, Beograd, 1994.
- [6] Jaćimović, B., S. Genić, D. Tanasić, S. Nikodijević, N. Avramović: *Kritički osvrt na stanje u oblasti razmenjivačkih stanica za sistem daljinskog grejanja*, TOPSY 95, Novi Sad, 1995.
- [7] Jaćimović, B., S. Genić, D. Lelea: *Qualitative Regulation in District Heating System and Heat Exchanger Performances Prediction*, International Symposium of Thermotechnics, Thermal Machines and Road Vehicles, Timisoara, Rumunija, 1996.
- [8] Jaćimović, B., S. Genić, S. Nikodijević, D. Bogovac: *Ograničenja izbora razmenjivača toplote za sistem daljinskog grejanja*, 10. savetovanje toplana Jugoslavije – TOPYU 97, Beograd, 1997.
- [9] Jaćimović, B., B. Živković, S. Genić, P. Zekonja: *Supply Water Temperature Regulation Problems in District heating Network With Both Direct and Indirect Connection*, Energy and Buildings, Vol. 28, SAD, 1998.