BIBLID 0350-1426 (2003) 32:2 p. 45-47
UDK 697.35

ODAVANJE TOPLOTE RADIJATORA PRI PROMENLJIVOM PROTOKU VODE

Radni dijagram radijatora

Mr Predrag Zekonja, dipl. inž., JKP Beogradske elektrane, Beograd, i dr Branislav Živković, dipl. inž., i Radoslav Galić, dipl. inž., Mašinski fakultet, Beograd

U radu se razmatra odavanje toplote radijatora pri promenljivom protoku vode i različitim temperaturskim režimima. Polazeći od opšte jednačine za relativno odavanje toplote radijatora pri eksploatacionim uslovima različitim od projektnih, konstruisan je radni (pogonski) dijagram za liveni člankasti radijator. Radni dijagram omogućava lako određivanje toplotnih karakteristika radijatora u različitim temperaturskim uslovima (temperatura razvodne i povratne vode i temperatura u prostoriji) i različitim protocima vode kroz radijator. Pokazano je da na odavanje toplote radijatora veći uticaj ima smanjenje, nego povećanje protoka kroz grejno telo u odnosu na nominalni protok tople vode.

Ključne reči:
toplovodno grejanje; radijator; toplotni učinak; promenljiv protok vode; radni dijagram radijatora

Key words:
hydronic heating; radiator; heat output; variable water flow rate; heat output chart

1. Uvod

Grejna tela predaju toplotu sobnom vazduhu prirodnom konvekcijom uz istovremeni prenos toplote zračenjem ka površinama građevinskog omotača i nameštaja u prostoriji. Kako se ovi mehanizmi prenosa toplote odvijaju istovremeno, i uz to su interaktivni, teško je relativno jednostavnim matematičkim modelom opisati prenos toplote sa radijatora na okolinu. Zbog toga se odavanje toplote grejnih tela određuje eksperimentalno. Na osnovu tih merenja, proizvođači objavljuju podatke o ukupnom odavanju toplote svojih grejnih tela (konvekcijom i zračenjem) u nominalnim uslovima. Ti nominalni uslovi se definišu standardima. U našoj zemlji važi jugoslovenski standard za ispitivanje toplotnog učinka grejnih tela, koji propisuje sledeće temperaturske uslove: $t_r/t_p = 90/70^{\circ}C$ i $t_u = 20^{\circ}C$. Za druge temperaturske uslove, preračunavanje toplotnog učinka vrši se prema izrazu:

$$q = \frac{Q_{GT}}{Q_{GTN}} = \left(\frac{\Delta t_m}{\Delta t_{mN}} \right)^m \qquad (1)$$

Pri tome, srednja razlika temperatura između grejnog (topla voda) i grejanog fluida (sobni vazduh), može se uzeti kao logaritamska:

$$\Delta t_{m,ln} = \frac{t_r - t_p}{\ln \frac{t_r - t_u}{t_p - t_u}} = \frac{t_R - t_P}{\ln \frac{t_R}{t_P}} = \frac{\Delta t_w}{\ln \frac{t_R}{t_P}} \qquad (2)$$

ili aritmetička, ukoliko je $t_p / t_R \geq 0,7$ (u suprotnom se mora izvršiti korekcija):

$$\Delta t_{m,a} = t_{wm} - t_u = \frac{1}{2} \cdot \left(t_r + t_p \right) - t_u = \frac{1}{2} \cdot \left(t_R + t_P \right) \qquad (3)$$

Jednačina odavanja toplote radijatora pri različitim temperaturskim režimima (1) važi za konstantan protok radnog fluida (tople vode). Međutim, u praksi je čest slučaj da protok vode odstupa od nominalne vrednosti. Uzimajući u obzir odstupanje protoka u odnosu na nominalni:

$$x_m = \mathring{m}_w / \mathring{m}_{wN} \qquad (4)$$

može se dobiti jednačina odavanja toplote grejnih tela pri ma kom protoku vode koja prema Zekonji i dr. (2003) u implicitnom obliku glasi:

$$1 - q \cdot \frac{\Delta t_{wN}}{x_m \cdot t_R} - e^{-q^{\frac{m-1}{m}} \cdot \frac{\Delta t_{wN}}{x_m \cdot \Delta t_{mN,ln}}} = 0 \qquad (5)$$

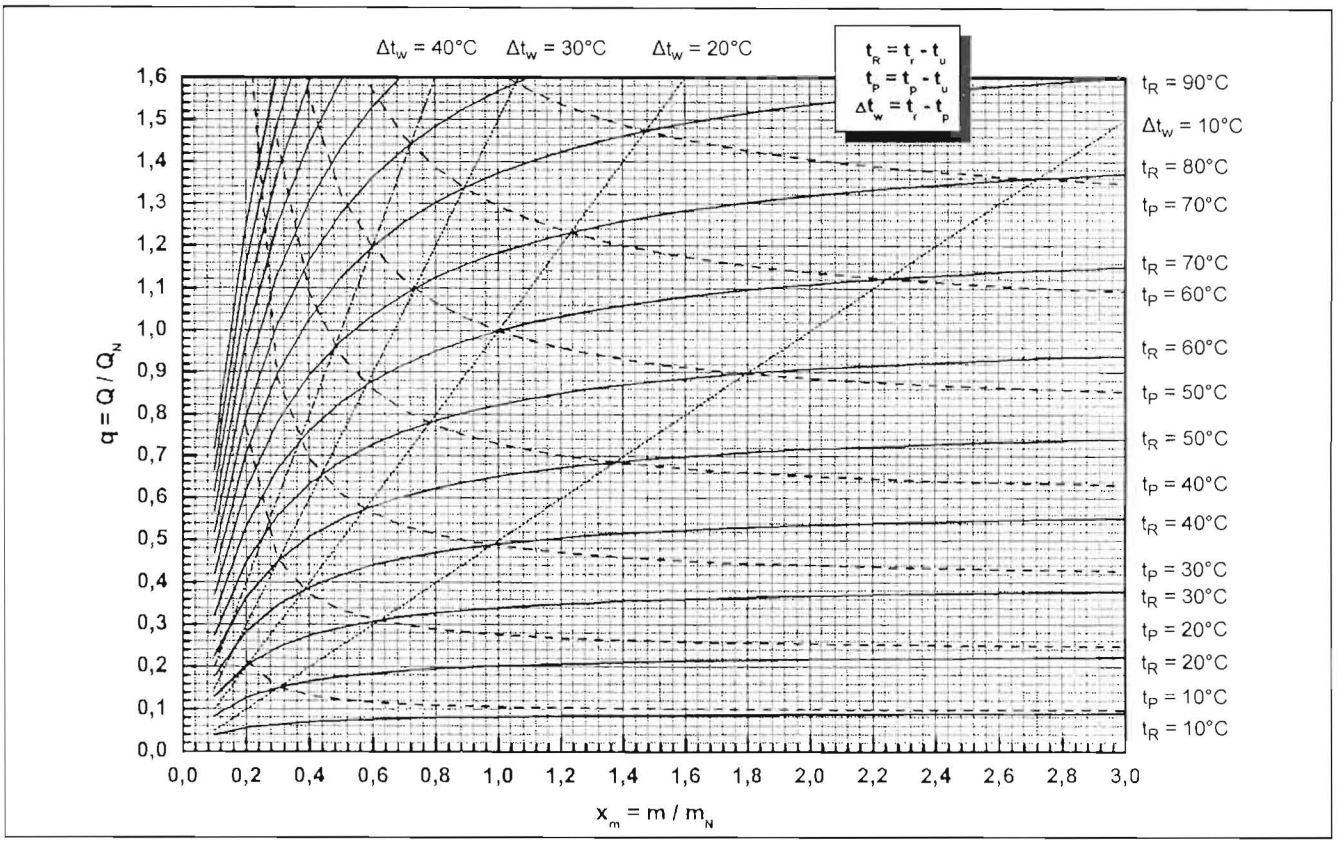
Jednačina (5) je izvedena iz pretpostavke da se termička karakteristika grejnog tela "m" ne menja sa promenom protoka vode kroz grejno telo. Prema Reknagelu (2002), postoji zavisnost između karakteristike grejnog tela i protoka vode kroz grejno telo. I ispitivanja izvršena u Laboratoriji za grejanje i klimatizaciju na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu pokazuju da se karakteristika grejnog tela menja sa protokom vode. Odstupanja termičke karakteristike radijatora od nominalne vrednosti veća su pri manjim protocima vode kroz grejno telo. Takođe treba istaći da jednačina (5) važi za klasičan način povezivanja radijatora na cevnu mrežu: dovod vode na gornjem, a povrat na donjem priključku sa iste strane radijatora.

2. Radni dijagram radijatora

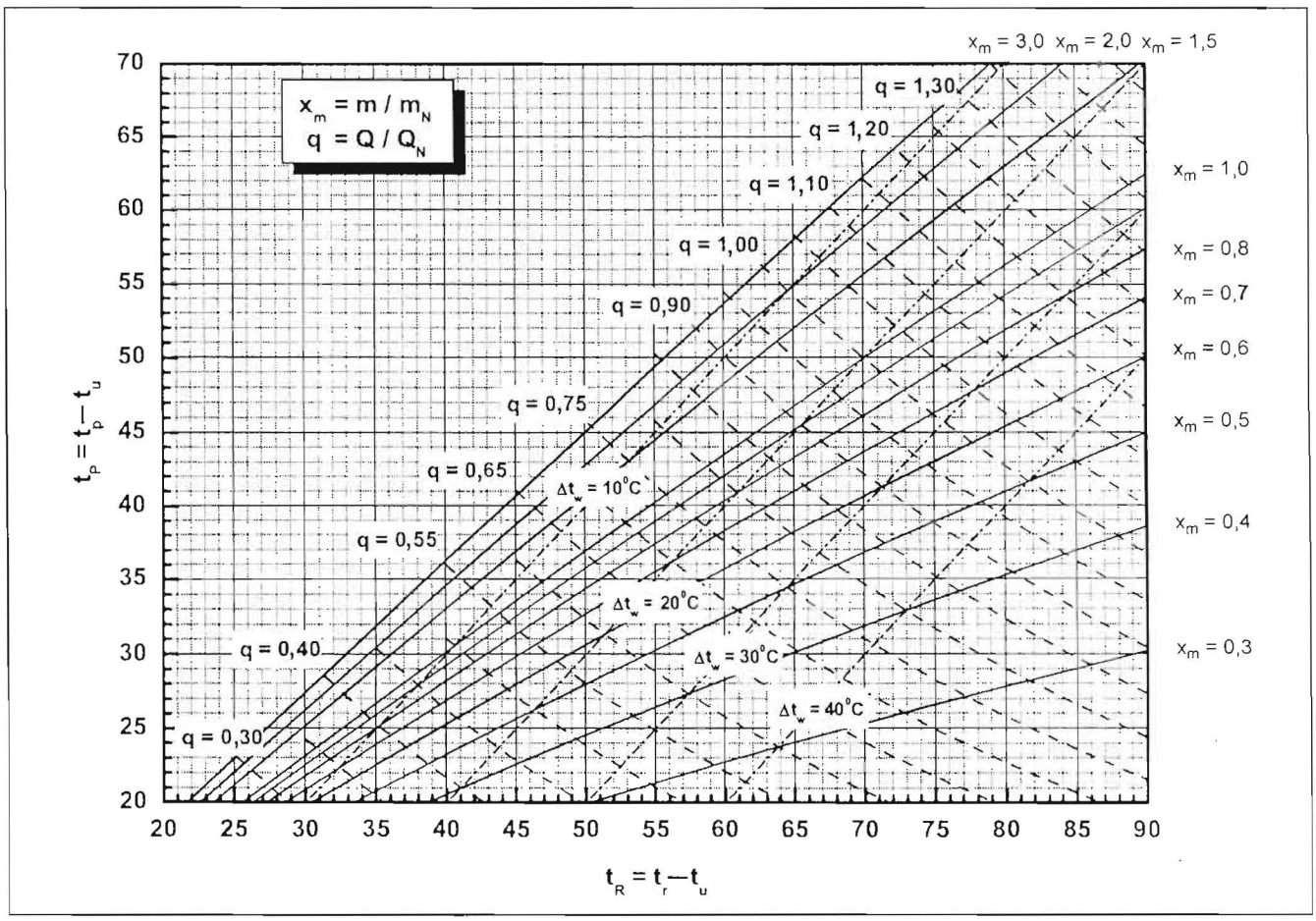
Rešavanjem jednačine (5) može se dobiti radni (pogonski) dijagram za svako grejno telo (slika 1). Dijagram važi za određeno grejno telo poznate termičke karakteristike "m" i poznatog odavanja toplote pri nominalnim uslovima Q_{GTN}. Radni dijagram na slici 1 konstruisan je za grejno telo čija je karakteristika m = 4/3 (liveni člankasti radijator), nominalne temperaturske uslove tople vode $t_r/t_p = 90/70^{\circ}C$ i temperaturu u prostoriji $t_u = 20^{\circ}C$.

Kao koordinatne ose odabrane su: relativno odavanje toplote radijatora i relativan protok vode kroz radijator "$q - x_m$". Na slici 1 pojavljuje se pet parametara:

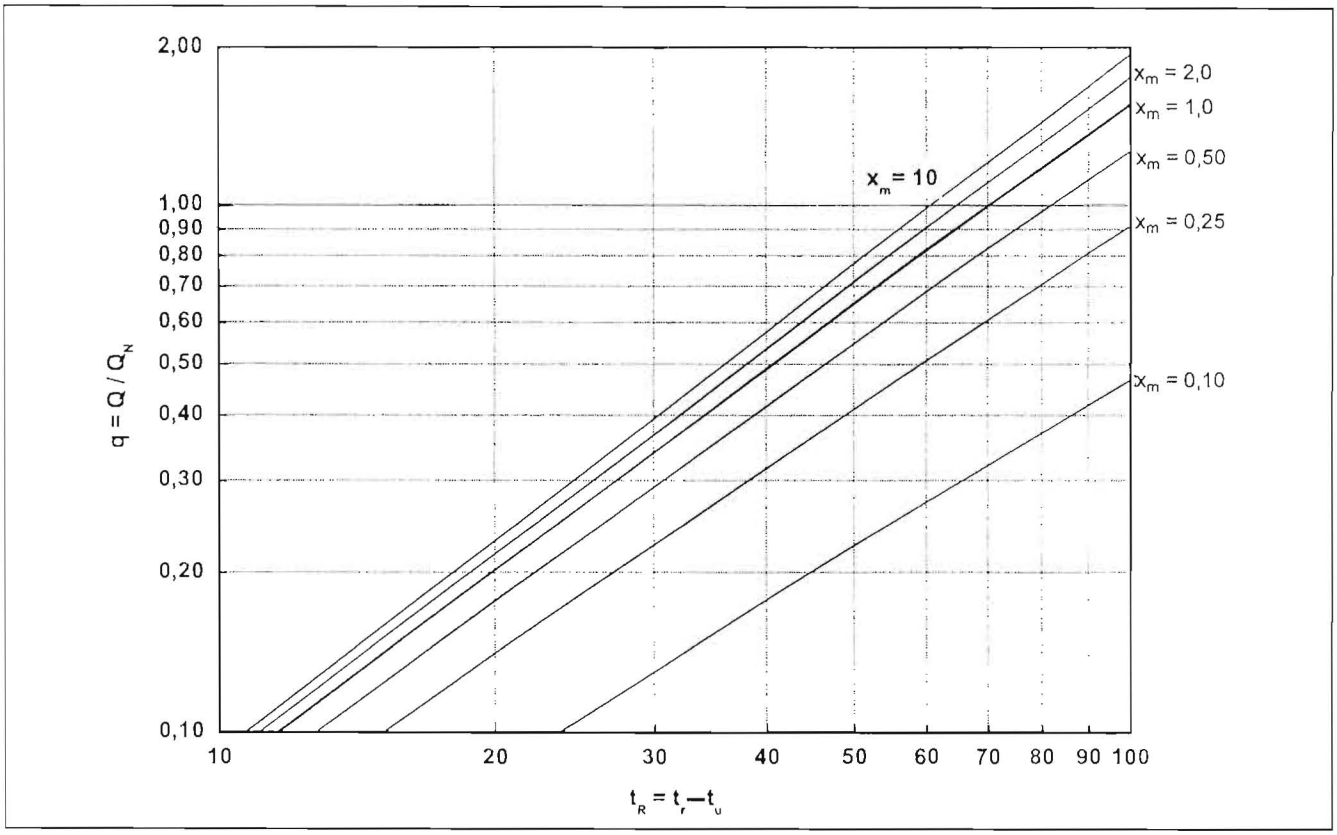
- relativno odavanje toplote radijatora (u odnosu na nominalne uslove), q;
- relativan protok tople vode kroz radijator (u odnosu na nominalni protok), x_m;
- razlika temperature razvodne vode i temperature vazduha u prostoriji, t_R;



Slika 1. Radni q – x_m dijagram radijatora



Slika 2. Radni t_R – t_P dijagram radijatora



Slika 3. Relativno odavanje toplote radijatora u zavisnosti od protoka

- razlika temperature povratne vode i temperature vazduha u prostoriji, t_p;
- razlika temperature razvodne i povratne vode, Δt_w.

Dve veličine su nezavisno promenljive, dok su preostale tri veličine zavisno promenljive i mogu se očitati sa dijagrama.

Prilikom rešavanja jednačine (5), rezultati se mogu prikazati i u drugim koordinatnim sistemima. Na slici 2 izabran je koordinatni sistem "$t_R - t_P$". Ovaj dijagram je konstruisan za iste polazne veličine kao na slici 1. Sadrži, takođe, pet parametara, od kojih su dva nezavisno promenljiva, dok se ostali mogu očitati sa dijagrama.

Radni dijagram radijatora definiše njegovo odavanje toplote za različite protoke vode i temperature tople vode i vazduha, u odnosu na nominalne uslove. Na osnovu jednačine (5), pogonske dijagrame je moguće konstruisati za bilo koje nominalne uslove.

3. Maksimalno odavanje toplote radijatora

Na dijagramima 1 i 2 može se uočiti da na odavanje toplote radijatora mnogo značajniji uticaj ima kada je protok vode kroz radijator manji od nominalnog, nego kada je veći. S obzirom na čest slučaj u praksi da u neuregulisanim ili nedovoljno dobro uregulisanim mrežama toplovodnog grejanja, protoci tople vode kroz grejna tela, naročito ona najbliža i najudaljenija od cirkulacione pumpe, može znatno da odstupa od nominalne (projektne) vrednosti, u radu je posebno analiziran uticaj protoka vode na odavanje toplote radijatora. Ti rezultati prikazani su na slici 3.

Pri istoj temperaturi razvodne vode t_r, tačnije istoj razlici temperatura razvodne vode i vazduha u prostoriji t_R, povećanjem protoka vode kroz radijator za 10% iznad nominalne vrednosti, odavanje toplote radijatora se povećava za 1,8%, dok se pri smanjenju protoka za 10%, odavanje toplote smanjuje za 2,2%. Pri povećanju protoka za 50%, toplotni učinak radijatora se povećava za 7% u odnosu na nominalni, dok smanjenje protoka vode za 50% dovodi do manjeg odavanja toplote radijatora za približno 17%. Dvostruko većem protoku tople vode kroz radijator odgovara povećanje toplotnog učinka za oko 11%.

4. Zaključak

Odavanje toplote grejnih tela u nominalnim uslovima određuje se eksperimentalno. Na osnovu tih merenja izračuna se i termčka karakteristika grejnog tela. Te podatke proizvođači radijatora publikuju u svojim katalozima. Preračunavanje toplotnog učinka grejnog tela pri drugim temperaturskim režimima, ali kada se protok vode kroz to grejno telo ne menja, može se izračunati pomoću jednačine (1). Ukoliko se, osim temperaturskih uslova, menja i protok vode, odavanje toplote grejnog tela može se odrediti pomoću jednačine (5) ili radnog (pogonskog) dijagrama radijatora.

Radni dijagram omogućava lako određivanje toplotnih karakteristika radijatora kada radi u režimima različitim od nominalnog. U ovom radu je prikazan radni dijagram za člankasti radijator od livenog gvožđa (termička karakteristika m = 4/3) i nominalne uslove prema jugoslovenskom standardu: temperatura tople vode t_r/t_p = 90/70°C i temperatura vazduha u prostoriji t_u = 20°C. Primenjujući jednačinu (5), radne dijagrame je moguće konstruisati i za druge nominalne uslove.

Praktični značaj radnog dijagrama radijatora je da se njegovim korišćenjem može relativno precizno odrediti odavanje toplote radijatora u sistemima jednocevnog toplovodnog grejanja. Takođe, može se koristiti u analizama ponašanja sistema centralnog grejanja kada se primenjuju radijatorski ventili sa termostatskom glavom, koji se, u cilju uštede i racionalnije potrošnje energije, sve više ugrađuju u sisteme centralnog toplovodnog grejanja u našoj zemlji.

Na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu u toku su završna merenja na osnovu kojih bi trebalo da se utvrdi zavisnost između termičke karakteristike grejnog tela i protoka vode kroz to grejno telo.

Korišćene oznake

m – maseni protok vode [kg/s]
Q_{GT} – odavanje toplote radijatora u jedinici vremena [W]
q – relativno odavanje toplote radijatora (odavanje toplote u odnosu na nominalne uslove)
$\Delta t_{m,a}$ – srednja aritmetička temperaturska razlika [°C]
$\Delta t_{m,ln}$ – srednja logaritamska temperaturska razlika [°C]
Δt_w – razlika temperature razvodne i povratne vode [°C]
t_r – temperatura razvodne vode [°C]
t_R – razlika temperature razvodne vode i vazduha u prostoriji [°C]
t_p – temperatura povratne vode [°C]
t_P – razlika temperature povratne vode i vazduha u prostoriji [°C]
t_u – temperatura sobnog vazduha [°C]
x_m – relativan protok vode kroz radijator (protok vode u odnosu na nominalni protok).

Indeksi

N – nominalni (projektni) uslovi
w – voda.

Eksponenti

m – termička karakteristika radijatora.

Literatura

[1] **Zekonja, P. i dr.,** *Odavanje toplote radijatora pri promenljivom protoku vode – teorijske i eksperimentalne postavke*, časopis KGH br.1/2003, SMEITS, Beograd, str. 53–57.
[2] **Živković, B. i dr.;** *Odavanje toplote grejnih tela u nominalnim i eksploatacionim uslovima*, 29. kongres o KGH, zbornik radova, SMEITS, Beograd,1998, str. 190–195.
[3] **Jaćimović i dr.,** *Supply water temperature regulation problems in district heating network with both direct and indirect connections*, časopis Energy and Buildings, Elsevier, Ženeva, Švajcarska, br. 28, 1998, str. 317–322.
[4] **Recknagel i dr.,** *Grejanje i klimatizacija*, Interklima, Vrnjačka Banja, 2002.

kgh

Predrag Zekonja, M. Sc., Branislav Živković, D. Sc. & Radoslav Galić, B. Sc.

RADIATOR HEAT EMISSION AT CHANGEABLE WATER FLOW
Radiator operation Diagram

Summary

The radiator's heat emission was analyzed at the changeable water flow and different temperature regimes. Starting from the general equation for the radiator's relative heat emissions at the utilization conditions different from the design conditions, a working (operating) diagram for a cast-iron sectional radiator was made. The working diagram enables the simple determination of the radiator's heat characteristics at different temperature conditions (temperature of distribution and return water and room temperature) and different water flows through the radiator. It has been shown that the radiator's heat emission is effected by the decrease rather than the increase of flow through the heat-emitting unit in relation to the nominal hot water flow.