

DINAMIČKI MODEL ZGRADE – UTICAJ DOGREVANJA PROSTORIJA NA FUNKCIONISANJE RADIJATORSKOG GREJANJA

DYNAMIC MODEL OF A BUILDING – INFLUENCE OF ROOM
REHEATING ON RADIATORS HEATING OPERATION

Dr Nebojša Lukić, dipl. inž., Mašinski fakultet, Kragujevac

U radu se na naučno verifikovanom i eksperimentalno potvrđenom dinamičkom modelu zgrade ispituje uticaj dogrevanja prostorija u zimskom periodu, najčešće električnim grejačima, a koje se inače standardno zagrevaju sistemom centralnog radijatorskog grejanja. Naime, vrlo čest problem u našim uslovima je nedovoljno radijatorsko grejanje i dogrevanje od strane potrošača toplotne energije. Jasno je da u tom slučaju sam proces razmene toplote razmenjivač–radijator–prostorija neće biti isti. Neki od dobijenih rezultata obavljenih simulacija izloženi su u ovom radu.

The influence of parallel work central heating – electrical heater operation on energy consumption is simulated by a dynamical (numerical, explicit) model of a building. The model is experimentally verified and scientifically proved. The building has the central heating system but that heating is insufficient, and the building has to be reheated by the electrical heaters. It is obvious that the process of exchange – heat exchanger-radiator-room would not be the same. Some of the simulated results are presented in this paper.

Ključne reči: zgrada; dinamički model; centralno grejanje; nedovoljno grejanje
Key words: building; dynamical model; central heating; insufficient heating

1. Uvod

Proračuni potrošnje energije za klimatizaciju baziraju se sve više na dinamičkim modelima zgrada. Ovi modeli podrazumevaju korišćenje savremene računarske tehnike, a prema Međunarodnoj agenciji za energiju (International Energy Agency – IEA) [1], samo u 1995. godini registrovano je 215 novih alata i softvera za proračun energetske potrebe zgrada. U literaturi [2] dinamički modeli zgrada se dele na modele na bazi numeričkih [3, 4], harmonijskih ili metoda termičkog odziva zgrade [5, 6]. U našoj zemlji se takode radi na ovoj problematici. Rezultat toga je (prema pregledanoj, raspoloživoj literaturi) prvi srpski dinamički model zgrade koji je naučno verifikovan i objavljen u renomiranom časopisu [4].

U našim iz prakse dobro poznatim uslovima, često se dešava da energana–topla–na ne isporučuje dovoljnu količinu toplotne energije potrebnu za ostvarenje termičke

ugodnosti u grejanim prostorijama. Razlozi za to mogu biti različite prirode, ali posledica je jedna: termička ugodnost, a pre svega temperatura vazduha u grejanim prostorijama nedovoljna je za boravak i aktivnost ljudi. Dalja posledica ove situacije je dogrevanje prostorija, u našem slučaju najčešće električnim grejačima, različitih snaga i konstrukcija.

U ovom radu se želi, korišćenjem dinamičkog modela zgrade, ispitati uticaj dodatnog zagrevanja prostorije električnim grejačem na razmenu toplote postojećim radijatorskim sistemom centralnog grejanja, toplom vodom.

2. Dinamički model zgrade

Najveći deo ovog modela objašnjen je u literaturi [4], s tim što je ovom modelu pridodat i sistem centralnog grejanja sa pripadajućim podsistemima. Modelu dogradeni sistemi objašnjeni su u lit. [7].

3. Simulacija termičkog ponašanja zgrade, sistema centralnog grejanja i električnih grejača

U ovom poglavlju će biti predstavljeno nekoliko zanimljivih rezultata do kojih se došlo simulacijom energetskog ponašanja zgrade u sprezi sa sistemom centralnog grejanja i njegovim paralelnim radom sa električnim grejačima (dogrevanje), korišćenjem softvera DZID. U ovom radu se ne razmatra termička ugodnost u prostoriji, već samo uticaj dogrevanja prostorije na rad centralnog radijatorskog grejanja.

3.1. Polazni podaci o modelu

Podaci korišćeni kao karakteristike ovog dinamičkog modela zgrade, navedeni su u tekstu koji sledi. Omotač zgrade: dimenzije zgrade su dužina 8 m, širina 8 m i visina 2,5 m; jednoslojni betonski omotač zgrade debljine $D = 10$ cm, $D = 30$ cm, ili $D = 50$ cm, toplotne provodljivosti 1,28 W/kgK, gustine 2000 kg/m³ i toplotnog kapaciteta 840 J/kgK; koeficijent emisije spoljnih površina omotača zgrade je 0,8. Svi zidovi, krov i pod zgrade su iste debljine. Udeo staklenih površina u ukupnoj površini južnog i severnog zida zgrade je 15%, dok za ostale zidove, krov i pod zgrade ovaj udeo iznosi 0%.

Podaci vezani za sunčevo zračenje: geografska širina položaja zgrade 44°, geografska dužina položaja zgrade 21°, nadmorska visina položaja zgrade 150 m, datum 01.02; orijentacija severnog zida 0° (ugao između smera severa i normale zida); nagib krova zgrade 0°; udeo jasnih sunčanih sati u danu 80% (pretežno vedro).

Ostali podaci vazani za spoljašnje uslove: koeficijent prelaza toplote na spoljnoj površini omotača zgrade je 15 W/m²K; konstantna temperatura zemljišta ispod poda zgrade je 8°C; nema isijavanja sa spoljne površine omotača zgrade u okolinu. Promena spoljne temperature je u obliku sinusoide srednje vrednosti -2°C, 4°C, ili 8°C i amplitude 4°C. Maksimalna spoljna temperatura vazduha se dostiže u 13 h, a minimalna u 01 h.

Podaci vezani za unutrašnje uslove: koeficijent prelaza toplote na unutrašnjim zidovima je 10 W/m²K; konstantno povetravanje prostorije zgrade iznosi 2 izmene/h; promenljiva i nekontrolisana temperatura klimatizacije (grejanja); grejni dan je od 8 h do 20 h. Početno vreme simulacije je 0 h. Simulacija se vrši za prvi proračunski dan (videti [7]). Karakteristike vezane za zgradu u sprezi sa sistemom centralnog grejanja su: raspoloživi pad pritiska vode u primarnom vodu 1500 Pa; broj bakarnih cevi raz-

menjivača 20 unutrašnjeg prečnika 8 mm, debljine zida 1 mm; aktivna površina razmenjivača toplote 3 m^2 , maseni protok sekundarne vode $0,3 \text{ kg/s}$; aktivna površina radijatora 2 m^2 ; visina radijatora 1 m; broj radijatora 6. Promena temperature dolazne primarne vode vrši se preko sinusoide (videti [7]). Inercija sistema centralnog grejanja je usvojena kao 0,5 h (kašnjenje promene temperature primarne vode u odnosu na promenu spoljne temperature i linearan rast i pad temperature primarne vode u istom periodu od 0,5 h na početku i na kraju grejnog dana). Gubici toplote na razmenjivaču toplote i transportu sekundarne vode do radijatorskih tela se zanemaruju. Dогреvanje prostorije se vrši električnim grejačem konstantne snage 1, 2, 3, 4 ili 5 kW, u vreme predviđenog grejnog dana.

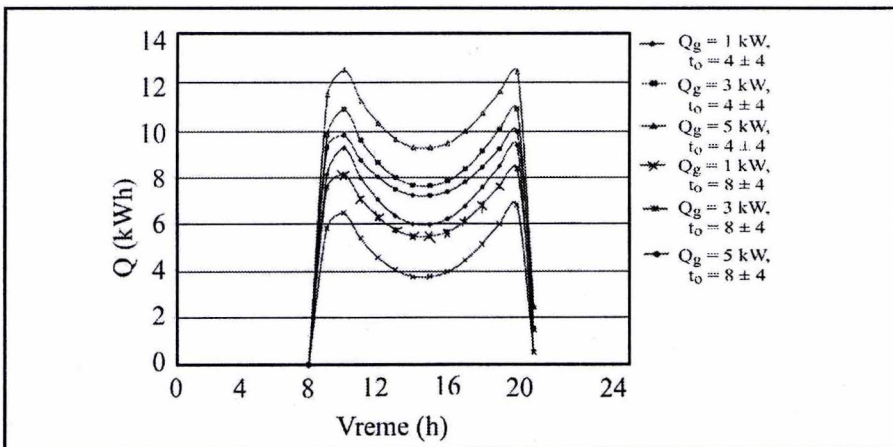
Temperatura vazduha u prostoriji nije kontrolisana i dostizanje određenog nivoa termičke ugodnosti u prostoriji nema uticaja na funkcionisanje sistema grejanja u smislu uključivanja i isključivanja sistema. Dakle, grejni sistem radi kontinualno tokom predviđenog grejnog dana.

Utrošena količina toplote grejanja je ona koja se na radijatorskim telima i električnom grejaču razmeni u toku posmatrana 24 h.

3.2. Rezultati simulacije

Na slici 3.1 je prikazana promena utrošene ukupne (radijatori i grejač) toplotne energije prostorije Q_u u toku grejnog dana za različite snage grejača ($Q_g = 1, 3 \text{ i } 5 \text{ kW}$) i različite simulirane spoljašnje temperature vazduha ($t_o = 4 \pm 4^\circ\text{C}$ i $8 \pm 4^\circ\text{C}$) u zavisnosti od vremena. U ovom slučaju simuliran je lak termički omotač zgrade, debljine 10 cm. Vrednosti za toplotnu energiju su izražene u kWh i izračunavane su za svaki sat grejnog dana, dakle to su već integrisane vrednosti po vremenu, a vreme na x-osi je dato da bi se dobila predstava u koje doba dana je ta potrošnja najveća, odnosno najmanja.

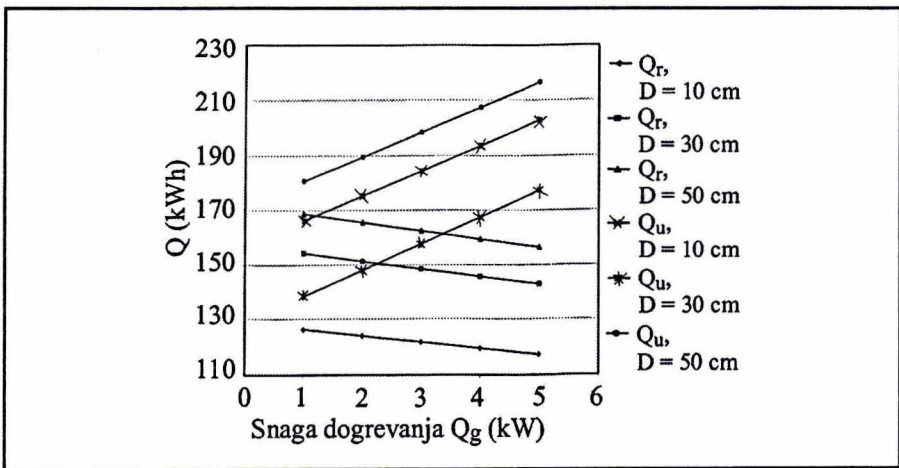
Prvo što se može uočiti na slici 3.1 je da se ukupna potrošnja energije uvećava sa većom snagom dogrevanja, a smanjuje za iste snage dogrevanja kada je spoljna



Slika 3.1. Ukupna potrošnja toplotne energije u prostoriji pri različitim snagama dogrevanja i spoljnim temperaturama u toku dana (debljina betonskih zidova prostorije iznosi 10 cm)

temperatura viša. Jasno je da ovim tvrdnjama nije potreban poseban komentar. Kako se radi o termički lakom omotaču zgrade, malog toplotnog kapaciteta, prvi proračunski dan koji je ovde simuliran (na početku simulacije je temperatura zidova ista kao i temperatura okoline, to jest, nema uticaja prethodnog dana), ne utiče bitno na potrošnju energije. U ovom slučaju presudan uticaj na klimatske uslove u prostoriji imaju spoljašnji uticaji (temperatura vazduha, zračenje i dr.). Niska spoljna temperatura u relativno kratkom periodu utiče na snižavanje i unutrašnje temperature vazduha, a samim tim i na povećano odavanje toplote na radijatorima. Uticaja na rad električnog grejača nema i on isporučuje i dalje konstantnu toplotnu snagu prostoriji. Na slici 3.1 se međutim ne vidi direktno koliki je udeo dogrevanja u ukupnoj dnevnoj potrošnji energije, a koliki sistema centralnog grejanja.

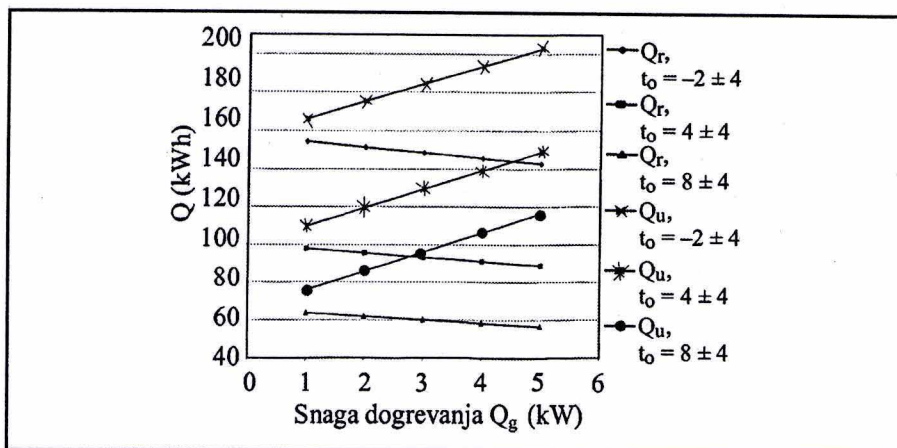
Na slici 3.2 prikazana je zavisnost ukupne dnevne potrošnje toplotne energije (radijatori i grejači Q_u), kao i ukupne dnevne potrošnje koja se registruje samo na radijatorima (Q_r), za različite debljine zidova prostorije u zavisnosti od snage dogrevanja, za spoljašnju temperaturu vazduha $-2\pm 4^\circ\text{C}$.



Slika 3.2. Ukupna dnevna potrošnja toplotne energije razmenjene u sistemu radijatori-grejači i one razmenjene samo na radijatorima, za različite debljine zidova, u zavisnosti od snage dogrevanja

Ono što treba primetiti na ovom dijagramu je da porastom toplotne snage dogrevanja, ukupna potrošnja energije raste, ali opada količina energije razmenjena samo na radijatorima u toku grejnog dana. Ovo se objašnjava time što veća snaga dogrevanja postiže više unutrašnje temperature vazduha, čime se smanjuje mogućnost razmene toplote između radijatora i unutrašnjeg vazduha. Zbog simulacije prvog proračunskog dana, što je omotač zgrade teži, veća je dnevna potrošnja toplotne energije i sa uračunatim dogrevanjem i bez njega.

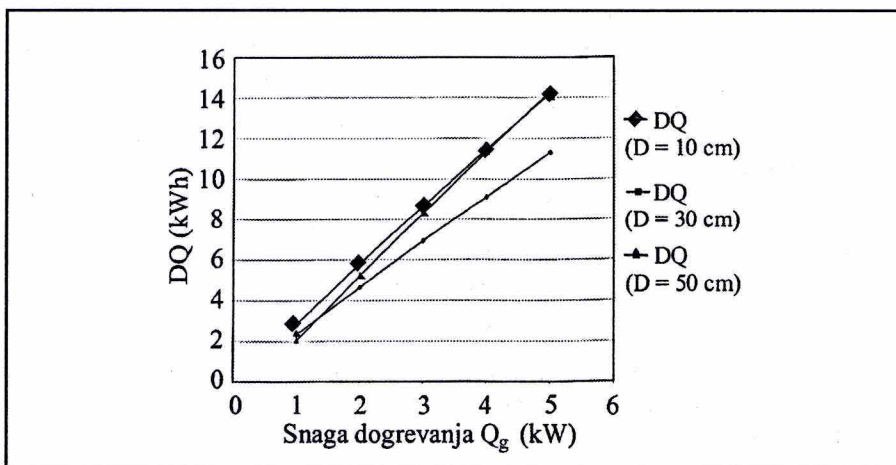
Na slici 3.3 prikazana je zavisnost ukupne dnevne potrošnje toplotne energije (radijatori i grejači Q_u), kao i ukupne dnevne potrošnje koja se registruje samo na radijatorima (Q_r), za različite spoljne temperature vazduha, za debljinu zidova prostorije od 30 cm, u zavisnosti od snage dogrevanja.



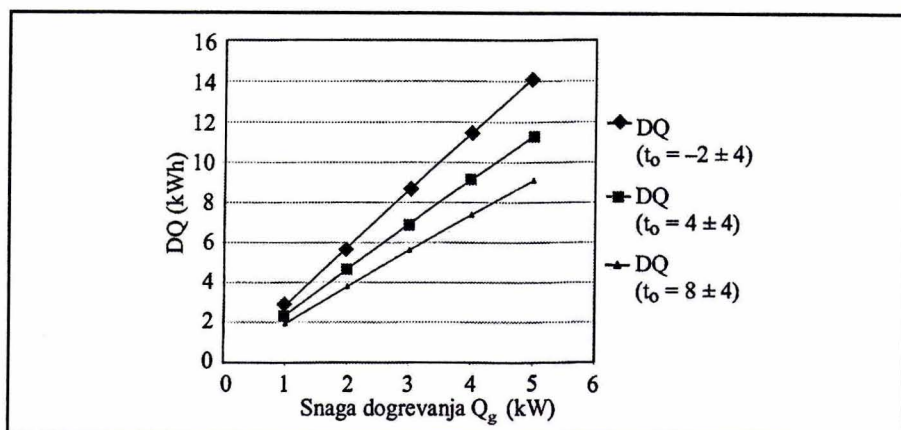
Slika 3.3. Ukupna dnevna potrošnja toplotne energije razmenjene u sistemu radiator-grejači i one razmenjene samo na radiatorima, za različite spoljne temperature vazduha, u zavisnosti od snage dogrevanja

Zavisnosti su slične kao one na slici 3.2, s tim što su apsolutne vrednosti dnevno utrošenih toplotnih energija značajno niže za više spoljne temperature vazduha.

Na slici 3.4 prikazana je zavisnost razlike ($DQ = Q_{rbd} - Q_r$) ukupne dnevne potrošnje toplotne energije razmenjene samo na radiatorima bez dogrevanja (nepromenljiva vrednost za sve tačke na dijagramu Q_{rbd} , za jednu debljinu zida) i potrošnje na radiatorima, ali sa dogrevanjem (Q_r), za različite debljine zidova prostorije, u zavisnosti od snage dogrevanja, za spoljnu temperaturu vazduha od $-2 \pm 4^\circ\text{C}$.



Slika 3.4. Razlika ukupne dnevne potrošnje toplotne energije razmenjene samo na radiatorima bez dogrevanja i odgovarajuće sa dogrevanjem, za različite debljine zidova zgrade, u zavisnosti od snage dogrevanja, za spoljnu temperaturu vazduha od $-2 \pm 4^\circ\text{C}$



Slika 3.5. Razlika ukupne dnevne potrošnje toplotne energije razmenjene samo na radijatorima bez dogrevanja i odgovarajuće sa dogrevanjem, za različite spoljne temperature vazduha, u zavisnosti od snage dogrevanja, za debljinu zida zgrade od 30 cm

Drugim rečima, dijagram prikazuje koliko se manje toplotne energije razmeni na radijatorima kada se prostorija dogreva, gledano prema ukupnim dnevnim potrošnjama. Uopšteno gledano, sa porastom snage dogrevanja smanjuje se razmenjena toplota na radijatorima, što je već zaključeno. Međutim, interesantno je uočiti te razlike kada se radi o različitim debljinama zidova zgrade, a istim snagama dogrevanja. Nagibi prikazanih, skoro linearnih zavisnosti, rastu sa povećanjem debljine zidova zgrade, a što je direktno povezano sa toplotnim kapacitetom zidova i prvim proračunskim danom kao uslovom simulacije. Za manje snage dogrevanja termički teška zgrada ($D = 50$ cm) ima manje razlike DQ , a za veće snage dogrevanje veće odgovarajuće razlike u odnosu na zgradu debljine zidova $D = 30$ cm. Treba se podsetiti da u zgrade sa termički težim omotačima, kasnije dolazi do izražaja promena spoljne temperature vazduha, zračenja i drugih spoljnih uticaja. Ukoliko su ti omotači dovoljno termički teški, uticaj promene spoljne temperature prvog proračunskog dana neće biti ni registrovan.

Na slici 3.5 prikazana je zavisnost razlike ukupne dnevne potrošnje toplotne energije razmenjene samo na radijatorima bez dogrevanja (nepromenljiva vrednost za sve tačke na dijagramu Q_{rbd} za jednu debljinu zida) i potrošnje na radijatorima ali sa dogrevanjem (Q_r), za različite spoljne temperature vazduha, u zavisnosti od snage dogrevanja, za debljinu betonskog zida zgrade 30 cm.

Ovde je zavisnost ista kao i na slici 3.4, ali za različite spoljne temperature. Prikazane promene se objašnjavaju time što su za više spoljne temperature vazduha, više i temperature u prostoriji, a samim tim su smanjene mogućnosti razmene toplote na radijatorima.

4. Zaključak

Problem dogrevanja prostorija u našoj zemlji je veoma čest. Prema prikazanim rezultatima, može se zaključiti da će sa većim snagama dogrevanja razmenjena toplotna energija na radijatorima biti sve manja, a taj će se nerazmenjeni deo energije

vraćati povratnim cevovodima u energane, uslovljavaće pri tom više temperature povratnog grejnog fluida, a samim tim i povećane gubitke u povratnom cevovodu. Drugim rečima, jedna anomalija u sistemu grejanja povlači drugu, a sve to vodi višestrukom povećanju utroška energije i novca. Ovakvi problemi se mogu rešavati samo ukoliko i proizvođači i potrošači energije imaju interesa za to. Mislim da se taj interes može stvoriti obaveznom ugradnjom kalorimetara – merača utrošene toplotne energije na svim potrošačima. Energana će tada moći da naplati samo koliko je efektivno isporučila, a potrošači samo onoliko koliko su stvarno utrošili. Samo u takvim zdravim odnosima proizvođača i potrošača toplotne energije postojaće svest o potrebi za njenom štednjom. Svakako da u tu svrhu korisno mogu poslužiti dinamički modeli zgrada, kao što je model u lit. [4].

Literatura

- [1] **Judkoff, R. D., J. S. Neymark:** *A Procedure for Testing the Ability of Whole Building Energy Simulation Programs to Thermally Model the Building Fabric*, Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 117, 1995, pp. 7–15.
- [2] **Hagghighat, F. and H. Liang:** ASHRAE Trans. 98, Pt 1, 1992, 284.
- [3] **Price B. A., and T. F. Smith:** *Thermal Response of Composite Building Envelopes Accounting for Thermal Radiation*, Energy Convers. Mgmt Vol. 36, No. 1, 1995, pp. 23–33.
- [4] **Bojić, M., N. Lukić:** *Numerical Evaluation of Solar Energy Use Through Passive Heating of Weekend Houses in Yugoslavia*, Renewable Energy, No. 20, Elsevier Science, 2000, pp. 207–222.
- [5] **Mathews, E. H., P. G. Richards, C. Lombard:** *A first-order thermal model for building design*, Energy and Buildings, No. 21, 1994, pp. 133–145.
- [6] **Richards, P. G., E. H. Mathews:** *A Thermal Design Tool for Buildings in Ground Contact*, Building and Environment, Vol. 29, No. 1, 1994, pp. 73–82.
- [7] **Lukić, N.:** *Kvalitet unutrašnjeg vazduha u zgradama sa centralnim grejanjem u toku grejnog dana*, zbornik radova sa 30. kongresa o KGH, SMEITS, Beograd, 1999, str. 228–234.