

KVALITET UNUTRAŠNJEG VAZDUHA U ZGRADAMA SA CENTRALNIM GREJANJEM U TOKU GREJNOG DANA

INDOOR AIR QUALITY DURING THE DAY IN
BUILDINGS WITH CENTRAL HEATING

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

U radu se prikazuje simulacija promena nekih osnovnih klimatizacionih veličina na dinamičkom (numeričkom, eksplicitnom) modelu zgrade. Koriste se i verifikovani softver DZID (dinamički model jednodomorne zgrade), ispituje se promena temperature termičkog komfora zgrade, zagrevane sistemom centralnog grejanja u toku 24 časa. U svakom slučaju, ova temperatura nije konstantna tokom posmatranog grejnog dana. Sa druge strane, osnovni parametar za određivanje intenziteta grejanja u toplanama je trenutna spoljna temperatura. Zbog manje ili veće toplotne inercije sistema, ovo nije potpuno pouzdan kriterijum.

This paper deals with the simulation of some basic air conditioning values on the dynamic (numerical and explicit) model of a building. The indoor temperature of the building, which has the central heating system, was varied during 24 hours by using DZID software. In each case the indoor temperature was not constant during the day. On the other hand, the basic parameter for heating intensity determination in thermal power plants is instantaneous outdoor temperature. This cannot be a reliable criterion due to higher or lower thermal inertia of the system.

Ključne reči: zgrada; dinamički model; termički komfor; centralno grejanje

Key words: building; dynamic model; thermal comfort; central heating

1. Uvod

Proračun potrošnje energije klimatizacije i ostvarenje odgovarajućeg termičkog komfora, dinamičkim modelima zgrada, omogućuje praćenje svih bitnih parametara iz časa u čas. Dinamički modeli zgrada 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 energetskih zahteva zgrada. U literaturi [2], dinamički modeli zgrada se dele na modele na bazi numeričkih [3, 4], harmonijskih, ili metoda termičkog odziva zgrade [5, 6].

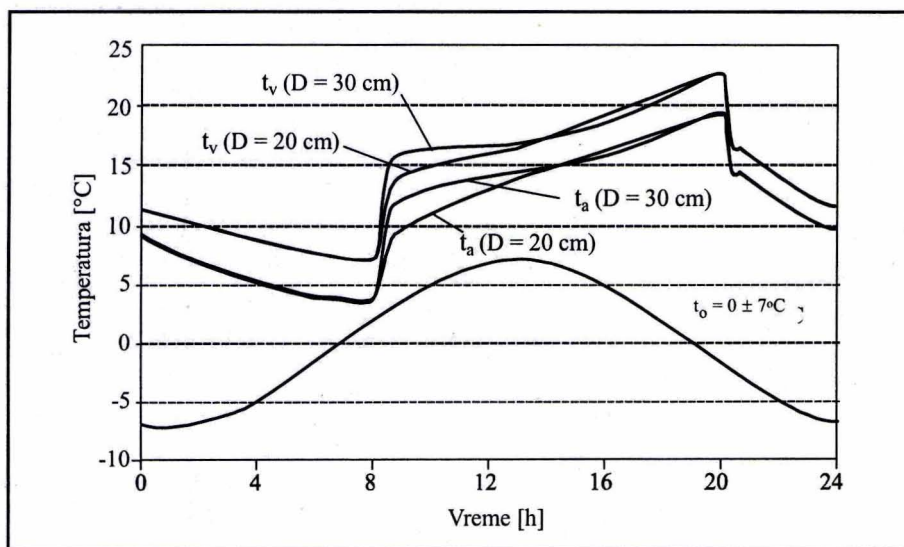
Klimatizacija zgrade podrazumeva ostvarenje termičkog komfora u njoj, drugim rečima ostvarenje određenog kvaliteta vazduha – ambijentalne temperature (t_a) i vlažnosti vazduha. Temperatura termičkog komfora (ambijentalna temperatura), to jest temperatura od koje zavisi osećaj termičke ugodnosti prisutnih osoba, u literaturi se usvaja na više načina. Ona zavisi pre svega od unutrašnje temperature (t_v) i brzine strujanja vazduha, kao i od temperature unutrašnjih zidova prostorije (t_z , efekti zračenja). Prema literaturi [7], ukoliko se ne radi o velikim brzinama strujanja klimatizovanog vazduha, ona se može usvojiti kao:

$$t_a = (t_v + t_z)/2 \quad (1.1)$$

U ovom radu se želi pokazati promena ambijentalne temperature definisane zgrade u zavisnosti od spoljašnjih i unutrašnjih uticaja, a sve u sprezi sa aktivnim sistemom centralnog grejanja. Naime, postavlja se pitanje, na koji način menjati temperaturu primarne tople vode kako bi u grejanim prostorijama ambijentalna temperatura, u toku jednog grejnog dana, bila što ujednačenija. Odgovor na ovo pitanje traži se uz pomoć softvera DZID [4] (verifikovani model, softver razvijen na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu), koji je za ovu priliku proširen blokom koji ima zadatak da simulira ponašanje sistema centralnog grejanja u zgradi (podstanica, razmenjivač toplote, radijatori).

2. Dinamički model zgrade

Najveći deo ovog modela objašnjen je u [4], s tim što je ovom modelu pridodat i sistem centralnog grejanja sa pripadajućim podsistemima. Energija proizvedena i transportovana sistemom centralnog grejanja u podstanici definisane zgrade usvojena



Slika 3.1. Promena spoljašnje, unutrašnje i ambijentalne temperature za dve debljine omotača zgrade, kada se temperatura dolazne primarne vode menja u skladu sa promenom spoljašnje temperature

je kao u vremenu promenljiva dolazna temperatura vrele primarne vode i raspoloživi pad pritiska na dolaznom i odlaznom priključku primarnog voda podstanice. Razmenjivač u podstanici je dvoprolazni, sa jednostruko savijenim bakarnim cevima, usvojenog broja i prečnika, koje se nalaze u plaštu razmenjivača takođe usvojenih dimenzija. Poznate veličine u razmeni toplote (razmenjivač i radijatori) jesu dolazne temperature vode primara (o čemu je već bilo reči) i sekundara (povratna voda iz radijatora), aktivna površina i dimenzije razmenjivača toplote i radijatora, brzine strujanja fluida, sobna temperatura vazduha.

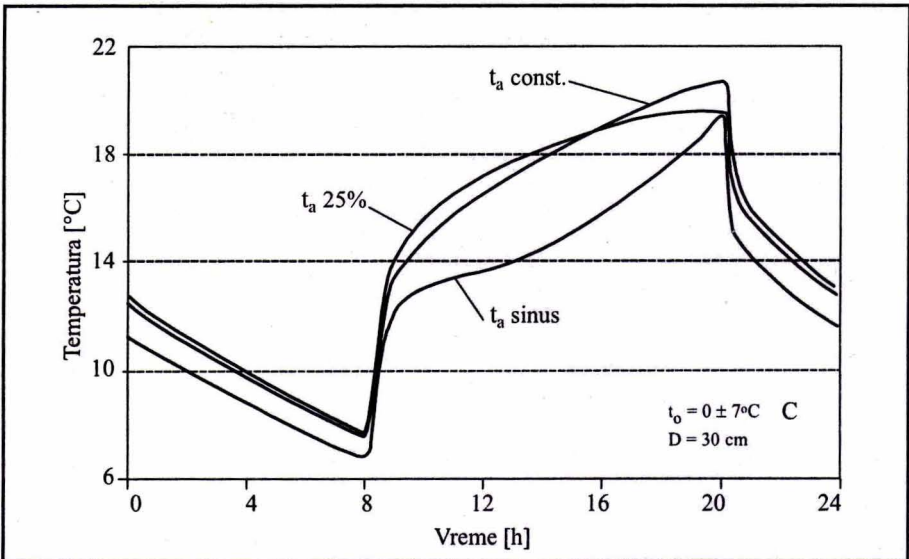
Veličine koje se izračunavaju u svakom vremenskom koraku numeričke procedure modela su: izlazne temperature vode primara i sekundara u razmenjivaču, izlazna temperatura vode iz radijatora (poznata veličina za razmenjivač u sledećem vremenskom koraku), koeficijenti prolaza toplote i ukupno razmenjene količine toplote. U toku grejnog dana (konkretno usvojenog od 8 do 20 h), dolaznu temperaturu primarne vode moguće je menjati na sledeće načine:

1. Promena temperature dolazne primarne vode t_{pu} je u direktnoj vezi sa promenom spoljašnje temperature vazduha t_o (sinusoida). Ova promena je usvojena kao:

$$t_{pu} = 3(10 - t_o) + 50 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (2.1)$$

Ovakvo upravljanje temperaturom primarne vode je dosta slično ili isto sa sistemom koji primenjuju naše energane-toplane. Uvek postojeće vreme kašnjenja (inercije) za trenutnom promenom spoljne temperature usvojeno je da iznosi 0,5 h. Ukoliko spoljna temperatura poraste iznad 10°C , grejanje se isključuje.

2. Promena temperature dolazne primarne vode je definisana i konstantna. Usvaja se kao t_{pu} iz jednačine (2.1), za srednju dnevnu spoljnu temperaturu.



Slika 3.2. Promena ambijentalne temperature za tri slučaja promene temperature dolazne primarne vode, za 30 cm debeo omotač zgrade

3. Promena temperature dolazne primarne vode je u toku grejnog dana opadajuća prava linija srednje vrednosti kao u tački 2. Usvaja se da je na početku grejnog dana ova temperatura veća od svoje srednje vrednosti za definisani procenat (polovina od ukupnog pada temperature), dok je na kraju grejnog dana za isti taj procenat niža.

3. Simulacija termičkog ponašanja zgrade i sistema centralnog grejanja

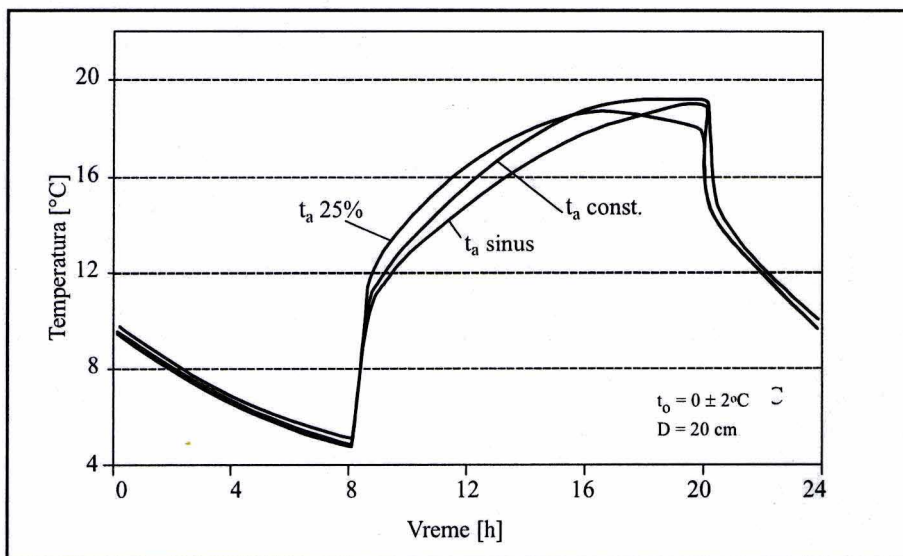
U ovom poglavlju će biti predstavljeno nekoliko zanimljivih rezultata, do kojih se došlo simulacijom energetskog ponašanja zgrade u sprezi sa sistemom centralnog grejanja, korišćenjem softvera DZID.

3.1. Polazni podaci modela

Podaci korišćeni kao karakteristike ovog dinamičkog modela zgrade, navedeni su u tekstu koji sledi.

Podaci vezani za omotač zgrade: dimenzije zgrade su dužina 7 m, širina 7 m i visina 2,5 m; jednoslojni betonski omotač zgrade debljine $D = 20$ cm, ili $D = 30$ cm toplotne provodljivosti 1,28 W/kgK, gustine 2000 kg/m^3 i toplotnog kapaciteta 840 J/kgK; koeficijent emisije spoljnih površina omotača zgrade 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 je za ostale zidove, krov i pod zgrade ovaj udeo jednak nuli.

Podaci vezani za sunčevo zračenje: geografska širina položaja zgrade 44° , geografska dužina položaja zgrade 21° , nadmorska visina položaja zgrade 150 m, datum 10. 02., orijentacija severnog zida 0° (ugao između smera severa i normale zida), nagib krova zgrade 0° , udeo jasnih sunčanih sati u danu 30% (oblačno).

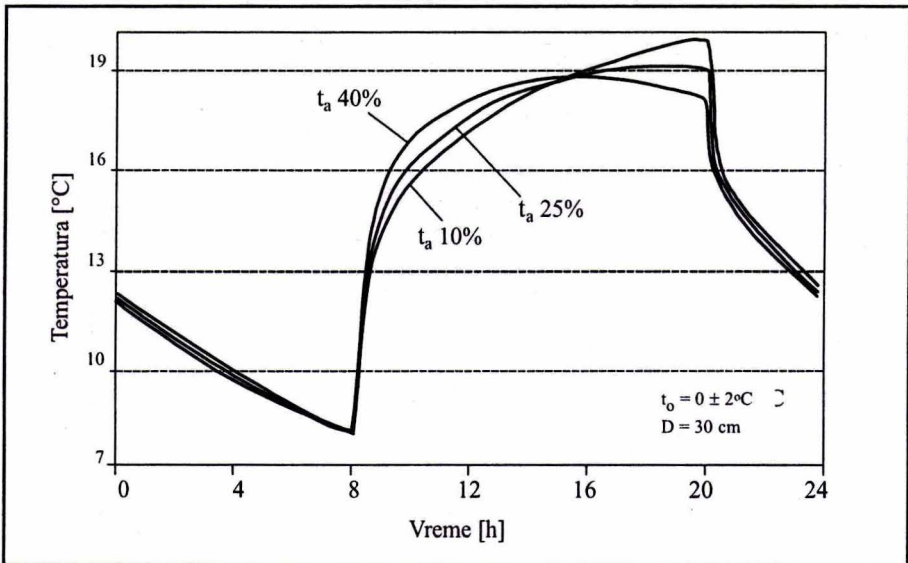


Slika 3.3. Promena ambijentalne temperature za tri slučaja promene temperature dolazne primarne vode, za 20 cm debeo omotač zgrade

Ostali podaci vezani za spoljašnje uslove: koeficijent prelaza toplote na spoljnoj površini omotača zgrade $15 \text{ W/m}^2\text{K}$; konstantna temperatura zemljišta ispod poda zgrade 8°C ; nema isijavanja sa spoljne površine omotača zgrade u okolinu. Promena spoljne temperature je u obliku sinusoide srednje vrednosti 0°C i amplitude 2°C i 7°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 $10 \text{ W/m}^2\text{K}$; konstantno provetravanje prostorije zgrade 1 izmena/h; promenljiva i nekontrolisana temperatura klimatizacije (grejanja); grejni dan od 8 do 20 h. Početno vreme simulacije je 0 h. Simulacija se vrši za tekući proračunski dan, bez bitnog uticaja prvog proračunskog dana (videti [8]). Karakteristike vezane za zgradu u sprezi sa sistemom centralnog grejanja su: raspoloživi pad pritiska vode u primarnomvodu 1500 Pa; broj bakarnih cevi razmenjivača 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 (jednačina 2.1), ili kao linearno opadajuća (ukupni pad temperature od početka do kraja grejnog dana 10%, 25% i 40%), ili je dolazna temperatura primarne vode konstantna. 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. Utrošena količina toplote grejanja je ona koja se na radijatorskim telima razmeni u toku posmatrana 24 h.

Dodatna objašnjenja u vezi dinamičkog modela i softvera DZID se mogu naći u [8].



Slika 3.4. Promena ambijentalne temperature za tri slučaja linearno opadajuće temperature dolazne primarne vode, za 30 cm debeo omotač zgrade

3.2. Rezultati simulacije

Na slici 3.1 je prikazana promena spoljašnje, unutrašnje i ambijentalne temperature za 20 i 30 cm debele betonske omotače zgrade, u toku jednog dana i pri prosečno dolazne temperature primarne vode u skladu sa promenom spoljašnje temperature (jednačina 2.1).

Promena spoljne temperature (na slici 3.1) usvojena je kao $0 \pm 7^\circ\text{C}$, dakle simuliran je hladan zimski dan, ali sa velikim oscilacijama temperature. Vidi se da su ambijentalne temperature niže za 3 do 4°C od odgovarajućih unutrašnjih temperatura vazduha, što je naročito izraženo na početku grejnog dana kada su zidovi najhladniji. U prvim časovima grejnog dana unutrašnja i ambijentalna temperatura su više za deblji omotač zgrade (30 cm), koji se u ovom slučaju ponaša kao efikasniji akumulator toplote utrošene prethodnog grejnog dana. Međutim, u daljim časovima grejnog dana temperatura u zgradi sa 20 cm debelim omotačem postaje neznatno viša od odgovarajuće za deblji omotač zgrade. Drugim rečima, promene spoljne temperature pre dolaze do izražaja u unutrašnjosti zgrada sa tanjim omotačima, u ovom slučaju ta promena je porast spoljne temperature. Ukupna potrošnja toplotne energije za prikazane debljine omotača je slična, za 20 cm debeli omotač iznosi 120,3 kWh, a za 30 cm debeli omotač 117,8 kWh. Najvažniji zaključak koji se može izvući posmatranjem slike 3.1 je da ako postoji znatna promena unutrašnje i ambijentalne temperature tokom grejnog dana, ne može se govoriti o ugodnom termičkom okruženju za osobe koje borave u simuliranoj zgradi. Dakle, za usvojenu promenu dolazne temperature primarne vode, koja je realno najčešća u našim toplinama, dobija se nepovoljan profil ambijentalne temperature u grejanim zgradama. U zgradama sa debljim omotačem smanjena je razlika između ekstremnih ambijentalnih temperatura tokom grejnog dana, što im daje prednost u odnosu na zgrade sa tanjim omotačima (za posmatrane simulacije).

Na slici 3.2 je prikazana promena ambijentalnih temperatura za tri slučaja promene temperature dolazne primarne vode objašnjena u poglavlju 2, za 30 cm debeo omotač zgrade i istu promenu spoljne temperature kao i na slici 3.1.

Pomenute promene temperature dolazne primarne vode su sinusna promena prema jednačini 2.1 (kriva t_a sinus), ukupna potrošnja toplotne energije razmenjene na radiatorima 117,8 kWh, zatim konstantna vrednost 80°C (kriva t_a const.), ukupna potrošnja 145,4 kWh i linearno opadajuća temperatura krajnje vrednosti za 25% manje od početne vrednosti $91,4^\circ\text{C}$ (kriva t_a 25%), ukupna potrošnja 144,1 kWh. Potrošnja toplotne energije u zgradi za krivu t_a sinus je niža u odnosu na druge dve, jer u toku grejnog dana (8–20 h) dolazi do povišenja spoljne temperature do 7°C i samim tim sniženja temperature dolazne primarne vode prema jednačini 2.1. Inače, za srednju temperaturu spoljašnje promene temperature od 0°C temperatura dolazne vode iznosi 80°C .

Na slici se vidi da postoji znatno variranje ambijentalne temperature za sva tri slučaja. Temperatura je redovno najniža na početku grejnog dana, međutim kriva t_a 25% se čini najboljim rešenjem u pogledu termičkog komfora osoba u simuliranoj zgradi.

Na slici 3.3 je promena ambijentalnih temperatura za tri slučaja promene temperature dolazne vode, za 20 cm debeo omotač zgrade i promenu spoljne temperature $t_s = 0 \pm 2^\circ\text{C}$.

Potrošnje toplotne energije za tri prikazane promene temperature dolazne primarne vode su za krivu t_a sinus 141,1 kWh, za t_a const. 150,4 kWh i t_a 25% 148,9 kWh. Potrošnja energije je slična u sva tri slučaja, jer nema velikih varijacija spoljne

temperature, znači ni velikih varijacija temperature dolazne primarne vode (kriva t_a sinus). Promene ambijentalne temperature u tri prikazana slučaja su slične, ali se ipak može reći da je, što se tiče termičkog komfora u zgradi, najpovoljniji slučaj t_a 25% (linearno opadajuća temperatura dolazne primarne vode).

Na slici 3.4 je prikazana promena ambijentalnih temperatura za tri slučaja promene temperature dolazne primarne vode vezane za njeno linearno opadanje. Na slici su odgovarajući procenti tih opadanja (10%, 25% i 40%). Debljina omotača zgrade iznosi 20 cm, a promena spoljne temperature je $t_s = 0 \pm 2^\circ\text{C}$ (sinusoida). Početna temperatura primarne vode za slučaj t_a 10% je $84,2^\circ\text{C}$, potrošnja toplotne energije 144,9 kWh, za slučaj t_a 25% je $91,4^\circ\text{C}$, potrošnja 144,1 kWh i za slučaj t_a 40% je 100°C , a potrošnja toplotne energije iznosi 143,2 kWh.

Za simulirani slučaj termičkog ponašanja zgrade može se reći da je približna konstantnost ambijentalne temperature, reprezenta termičkog komfora u zgradi, ostvarena za slučaj t_a 40% za praktično istu potrošnju toplotne energije kao i u druga dva slučaja.

4. Zaključak

Prema rezultatima prikazanim u radu, može se zaključiti da promena temperature primarne vode u toplanama, koja je u direktnoj vezi sa trenutnim vrednostima spoljne temperature, nije dobro rešenje grejanja zgrada. Model linearnog opadanja temperature primarne vode tokom grejnog dana na simuliranim primerima, pokazao je najbolje rezultate u ostvarivanju termičkog komfora u unutrašnjosti zgrade.

Smanjenje potrošnje toplotne energije jedan je od prioriteta istraživača, ali tek pošto se ostvari zadovoljavajući termički komfor u klimatizovanim zgradama. Poseđovanje verifikovanih softvera – dinamičkih modela zgrada, kao i poznavanje kvaliteta termičkih omotača zgrada, potrošača toplotne energije, mogu omogućiti toplanama ostvarenje oba pomenuta cilja.

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] **Haghighat, 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 (rad prihvaćen za štampu u konačnoj verziji, objavljivanje do početka 30. kongresa o KGH), Elsevier Science, 1999.
- [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] **Hampartsoumian, E., S. Roser:** *An Appraisal of the Techniques Used in the Assessment of Building Energy Requirements*, Energy World, December, 1987.
- [8] **Lukić, N., B. Selaković:** *Uticaj koeficijenta emisije spoljne površine omotača zgrade na potrošnju energije potrebnu za njenu klimatizaciju*, zbornik radova sa 29. kongresa o KGH, SMEITS, Beograd, 1998, str. 180–189.