

# Primjena RC-modela u simulaciji dimamičkih procesa razmjene toplote građevinskih objekata sa okruženjem

## Application of RC-Model in the simulation of dynamic thermal processes of the buildings interaction with the environment

Svetlana Dumonjić-Milovanović\*, Petar Gvero\*\*, Zdravko Milovanović\*\*

\*Partner inženjering d.o.o., Banja Luka

\*\* Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet Banja Luka

**Sažetak** - Primijenjena metodologija simulacije dinamičkih procesa razmjene toplote bazirana je na primjeni RC-modela (R-otpornik, C-kondenzator). Prema tom modelu se po presjeku građevinskih elementa formira konačan broj paralelnih slojeva kojima se dodjeljuju karakteristike ekvivalentne elementima strujnog kruga. Uspostavljanjem jednačina bilansa toplote po čvorovima između susjednih slojeva, za svaki određeni vremenski interval određene su matrice transfera toplote, a samim tim definisana i dinamika razmjene toplote. Složenost procesa razmjene toplote građevinskog objekta sa okruženjem naročito je izražena u režimu hlađenja, kada je u sklopu spoljašnjih i unutrašnjih uticaja dominantan uticaj kratkotalasnog zračenja. Usljed apsorpcije kratkotalasnog zračenja dodatno dolaze do izražaja procesi periodične akumulacije i otpuštanja apsorbovane toplote u netransparentnim elementima građevinske konstrukcije. Rezultati uspostavljenog modela su upoređeni sa rezultatima tri validaciona testa data u standardu EN ISO 52017, pri čemu su ostvarena dobra poklapanja sa datim časovnim vrijednostima operativne temperature. Nakon validacione procedure, ispitan je uticaj toplotnog kapaciteta na dinamiku razmjene toplote za nekoliko različitih netransparentnih elemenata građevinske konstrukcije, uticaj intenziteta provjetravanja na potrebe objekta za hlađenjem kao i uticaj spoljašnjeg sjenila na smanjenje potreba za hlađenjem.

**Ključne riječi** - RC-model, matrica transfera toplote, operativna temperatura

**Abstract** - The applied methodology for the simulation of the dynamic heat exchange processes is based on the application of the RC-model (R-resistor, C-capacitor). According to that model the final number of parallel layers is formed through the cross-section of the construction element and to those layers the characteristics which are equivalent to the elements of the

electric circuit are assigned. By establishing the heat balance equations for the nodes between adjacent layers, heat transfer matrices are determined for each time interval, and therefore the dynamics of heat exchange is defined as well. The complexity of the heat exchange process of the buildings with the environment is particularly pronounced in the cooling mode, when the influence of short-wave radiation is dominant within other influences. Due to the absorption of short-wave radiation, the processes of periodic accumulation and release of heat in the opaque building elements are expressed. The results of established model were compared on the results of three validation tests given in EN ISO 52017, and they showed good matches with the given hourly values of the operative temperature. After validation procedure, the effect of the thermal capacity influence on the dynamics of heat exchange of several different opaque building elements, the effect of the intensity of ventilation on the cooling needs as well as the influence of the external shade on the reduction of cooling needs were assayed.

**Index Terms** - RC-model, heat transfer matrix, operative temperature

### I. UVOD

Razmjena toplote građevinskih objekata sa okruženjem obuhvata složene fizičke procese kao što su: provođenje toplote uz periodičnu akumulaciju i otpuštanje toplote, prelaz toplote na okolni medij sa unutrašnje i spoljašnje strane zida, procesi dugotalasnog zračenja, kao i uticaji kratkotalasnog zračenja. Primjenom savremene računarske tehnike omogućeno je uspostavljanje modela razmjene toplote bliskih realnim fizičkim procesima razmjene toplote. Savremeni modeli razmjene toplote sadrže postavke kojima se prate svi procesi razmjene toplote, kao

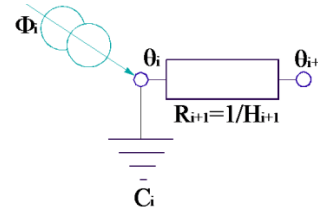
i dinamika razmjene toplote u čemu značajnu ulogu imaju dinamičke toplotne karakteristike elemenata građevinske konstrukcije. Na takvom pristupu proračunu energije potrebne za grijanje i hlađenje objekata bazirani su evropski EPB (Energy Performance of Building) standardi, među kojima i standardi EN ISO 52016 i EN ISO 52017, kojim je data metodologija proračuna dinamičkog toplotnog bilansa u zgradama ili pojedinačnim zonama zgrada, [1]. Sličan princip se primjenjuje i u VDI 6020, VDI 2078 i VDI 6007 normama koji se u Njemačkoj primjenjuju kao nacionalne norme za modeliranje toplotnog opterećenja zgrada. Između navedenih metodologija postoje izvjesna odstupanja u preporukama za modeliranje toplotnih kapaciteta i toplotnih otpora slojeva netransparentnih elemenata, [2]. U ASHRAE normama za modeliranje toplotnog opterećenja zgrada primjenjuju se HBM (The Heat Balance Method) i metoda RTSM (Radiant Time Series Method), bazirana na HBM metodi. Kod RTSM metode uticaj skladištenja i otpuštanja toplote se implementira kroz preporučene vremenske faktore provodljivosti (Conduction Time Series - CTS) datih za prethodna 24 časa, a uticaj zračenja kroz preporučene vremenske faktore zračenja (Radiant Time Series - RTS), takođe date za 24 časa koja prethode vremenu za koje se vrši proračun, [3]. Sve pomenute metode sadrže izvjesne aproksimacije vezane za postavku stvarnih fizičkih procesa, što je u okviru veoma složene problematike razmjene toplote sasvim prihvatljivo i realno izvodivo.

## II. OPIS PRIMIJENJENE METODOLOGIJE SIMULACIJE DINAMIČKIH PROCESA RAZMJENE TOPLOTE PRIMJENOM RC-MODELA

Primijenjeni dinamički model razmjene toplote zasnovan je na principima analognim toku električne struje u električnom kolu, pri čemu je otpor prolazu toplote ekvivalentan električnom otporu, a toplotni kapacitet elementa ekvivalentan kapacitetu električnog kondenzatora. Iz te analogije proizilazi i naziv RC-model. U postavci modela se duž presjeka svakog elementa formira konačan broj slojeva kojima se dodjeljuju odgovarajući otpori provođenju toplote, dok se na granicama slojeva formiraju čvorovi odgovarajućeg toplotnog kapaciteta u kojima se vrši bilansiranje toplotnih tokova. U EPB standardima princip bilansiranja toplote u čvorovima odvija se uz uspostavljanje jednakosti za svaki čvor  $i$  za svako prethodno definisano vrijeme  $t$  diskontinuiranog skupa vremena, sa intervalom između elemenata od  $\Delta t$ . Za svaki formirani čvor u jednačini figuriše toplotni kapaciteti čvora ( $C_i$ ) kao i temperaturne razlike u čvoru na početku i na kraju vremenskog intervala ( $\theta_{t,i} - \theta_{t-\Delta t,i}$ ), provodljivost posmatranog susjednog sloja ( $H_{i+1}$ ), temperaturne razlike između posmatranog čvora i susjednih čvorova ( $\theta_{t,i+1} - \theta_{t,i}$ ) i uticaj spoljašnjeg toplotnog toka ( $\Phi_{t,i}$ ). Opisani princip bilansiranja toplote u čvorovima dat je izrazom

$$\frac{C_i}{\Delta t}(\theta_{t,i} - \theta_{t-\Delta t,i}) = H_{i+1}(\theta_{t,i+1} - \theta_{t,i}) + \Phi_{t,i} \quad (1)$$

Prateća ilustracija bilansiranja toplote u čvorovima je data na Slici 1.



Slika 1. Ilustracija bilansiranja toplote u čvorovima

U realnim uslovima za unutrašnje čvorove u elementima građevinske konstrukcije pojavljuju se dva susjedna sloja sa svojim otporima provođenju toplote ( $R_{i-1}$  i  $R_{i+1}$ ), dok se u graničnim čvorovima pojedinačnih elementa građevinske konstrukcije javljaju tri otpora, pri čemu su otpor prelazu toplote i otpor dugotalasnog zračenja u paralelnoj vezi.

Po uspostavljanju prethodno navedenih jednačina toplotnog bilansa za svaki od  $N$  čvorova u elementima građevinske konstrukcije, kao i bilansa za toplotnu zonu u određenom vremenu, može se formirati odgovarajući matricni izraz za transfer toplote. Matricu transfera toplote sačinjavaju poznati koeficijenti ( $\Pi$ ), koji se u jednačinama nalaze uz vrijednosti nepoznatih temperatura svih pojedinačnih čvorova elementa, kao i temperature unutrašnjeg vazduha. Na desnoj strani matricnog izraza nalaze se poznate vrijednosti slobodnih članova u jednačinama ( $\Gamma$ ), što je dato izrazom

$$\begin{bmatrix} \Pi_{1,1} & \Pi_{1,2} & \dots & \Pi_{1,N} & \Pi_{1,N+1} \\ \Pi_{2,1} & \Pi_{2,2} & \dots & \Pi_{2,N} & \Pi_{2,N+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Pi_{N,1} & \Pi_{N,2} & \dots & \Pi_{N,N} & \Pi_{N,N+1} \\ \Pi_{N+1,1} & \Pi_{N+1,2} & \dots & \Pi_{N+1,N} & \Pi_{N+1,N+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_{is,1} \\ \theta_{is,2} \\ \dots \\ \theta_{is,N} \\ \theta_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Gamma_1 \\ \Gamma_2 \\ \dots \\ \Gamma_N \\ \Gamma_{N+1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

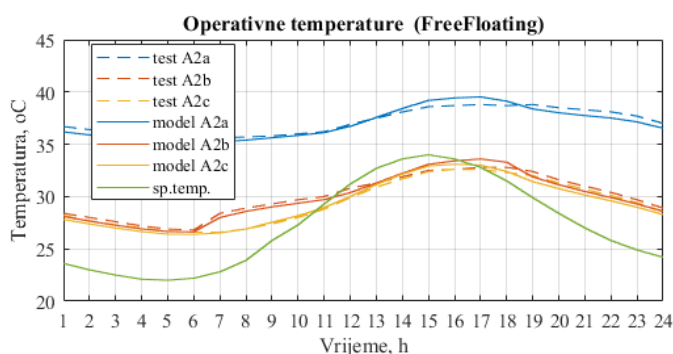
Osnovne toplotne karakteristike nekog prostora dobijaju se izračunavanjem operativne temperature ( $\theta_{op}$ ) u uslovima bez grijanja ili hlađenja (Free Floating Condition - FF), koja predstavlja ujednačenu temperaturu prostora prema toplotnom bilansu pri određenim spoljašnjim uslovima kada se učinak rada uređaja grijanja ili hlađenja izjednači sa nulom. Uzimajući u obzir i zračecu komponentu unutrašnjih površina, aktuelana operativna temperatura u opštem slučaju računski se dobija na osnovu temperature unutrašnjeg vazduha ( $\theta_a$ ), srednje temperature zračecih unutrašnjih površina zidova ( $\theta_{mrt}$ ) i faktora uticaja temperature vazduha na operativnu temperaturu ( $f_a$ ), što je dato izrazom

$$\theta_{op} = f_a \cdot \theta_a + (1 - f_a) \cdot \theta_{mrt} \quad (3)$$

Izračunavanje nerestriktivnog učinka grijanja ili hlađenja potrebnog za postizanje zadane temperature određuje se iz prethodno postavljenih jednačina na način da se unutrašnja temperatura izjednačava sa poznatom zadanom temperaturom, a učinak grijanja ili hlađenja posmatra kao nepoznata veličina.

### III. REZULTATI VALIDACIJE RC-MODELA I VARIRANJA UTICAJNIH ELEMENATA U DATIM SPOLJAŠNIM USLOVIMA

Nakon formiranog modela razmjene toplote provedena je validaciona procedura, gdje su upoređivane vrijednosti časovnih operativnih temperatura dobijenih u modelu sa vrijednostima tri testna primjera datim u standardu EN ISO 52017. Primjenom razvijenog računarskog koda u MATLAB programskom okruženju, nakon provedene inicijalizacije u vidu više ponavljanja procedure izračunavanja prema identičnim podacima za datih za 24 časa, za tri analizirana testna primjera određena je operativna temperatura datog prostora u uslovima bez grijanja i hlađenja (FF), a rezultati upoređeni sa rezultatima datim u testnim primjerima. Uočeno je dobro poklapanje rezultata sa tri testna primjera, što je dato su na Slici 2.



Slika 2. Rezultati validacije RC-modela

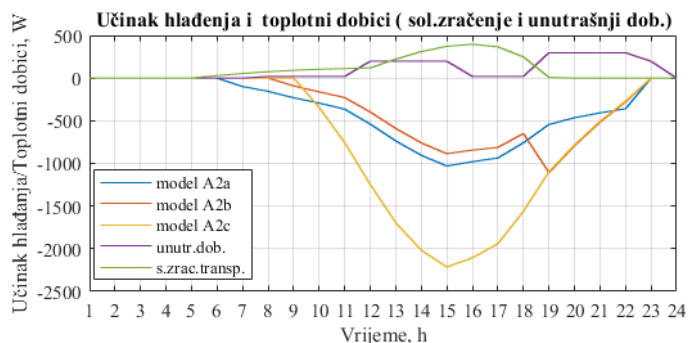
U datim testnim primjerima analizirana je prostorija (dimenzije prostorije 3.6x5.5 m, visina 2.8 m) ograničena sa adijabatskim stropom i podom, tri adijabatska zida i jednim zapadno orjentisanim spoljašnjim zidom (zid sa manjom površinom). Na spoljnjašnjem zidu je postavljen prozor sa jednostrukim staklom površine 3.5 m<sup>2</sup>, na kojem je spoljašnje sjenilo transparentnosti 0.2. Vrijednosti date spoljašnje temperature vazduha dati su na Slici 2. Dobici toplote usljed unutrašnjih izvora i dobici toplote usljed solarnog zračenja koje se propušta kroz zapadno orjentisan prozor dati su na Slici 3. Ostali promjenjivi uslovi tri testna primjera dati su u Tabeli 1.

Tabela 1. Dodatni uslovi dati za tri testna primjera, [1]

Vrijeme, h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Broj izmjena vazduha, 1/h												
Test A.2.a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Test A.2.b	10	10	10	10	10	10	.5	.5	.5	.5	.5	.5
Test A.2.c	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Vrijeme, h	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Broj izmjena vazduha, 1/h												
Test A.2.a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Test A.2.b	.5	.5	.5	.5	.5	.5	10	10	10	10	10	10
Test A.2.c	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

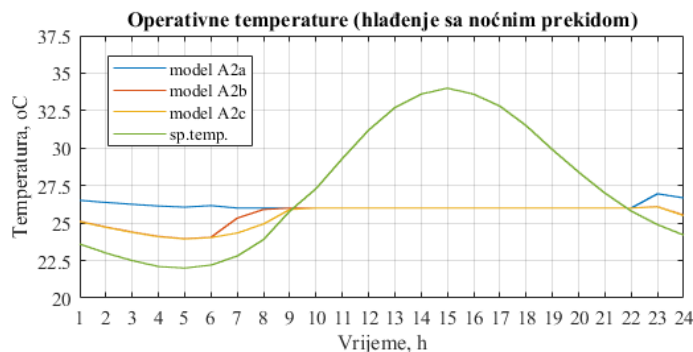
Rezultati u postupku validacije uspostavljenog RC-modela upućuju na zaključak da uspostavljeni model na zadovoljavajući

način prezentuje stvarne fizičke procese, pa su na osnovu njega izdvojene relevantne fizičke veličine i njihova promjena pri varijaciji nekih ulaznih podataka. Učinci hlađenja sa noćnim prekidom u uslovima tri data testna primjera, bazirani na dinamičkom pristupu razmjene toplote, dati su na Slici 3. Na dijagramu se može uočiti uticaj različitih uslova izmjene vazduha datih za tri slučaja.



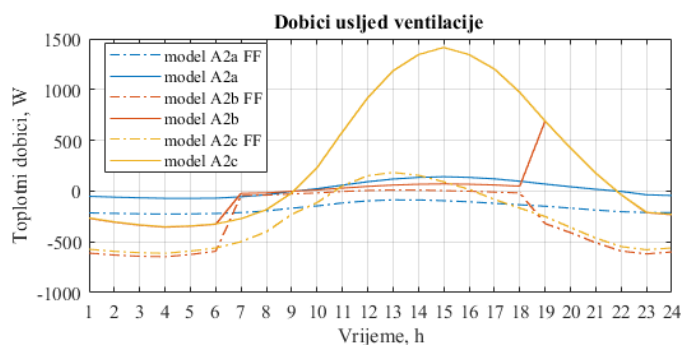
Slika 3. Učinak hlađenja u uslovima tri data testna primjera i dati dobici toplote od solarnog zračenja i unutrašnjih izvora

U izloženoj postavci je pretpostavljeno da se predmetni prostor hladi na temperaturu 26 °C sa noćnim prekidom u trajanju od 8 časova pri čemu su ostali uslovi iz tri data testna primjera ostali nepromijenjeni. Pri izloženoj analizi je određena i promjena temperature unutrašnjeg vazduha tokom noćnog prekida hlađenja, gdje se može vidjeti uticaj broja izmjena vazduha na temperaturu unutrašnjeg vazduha, što je prikazano na Slici 4.



Slika 4. Temperature vazduha pri hlađenju sa noćnim prekidom u uslovima tri data testna primjera

Izdvojeni dobici toplote usljed provjetravanja sa datim brojem izmjena vazduha prikazani su na Slici 5.



Slika 5. Dobici toplote usljed provjetravanja

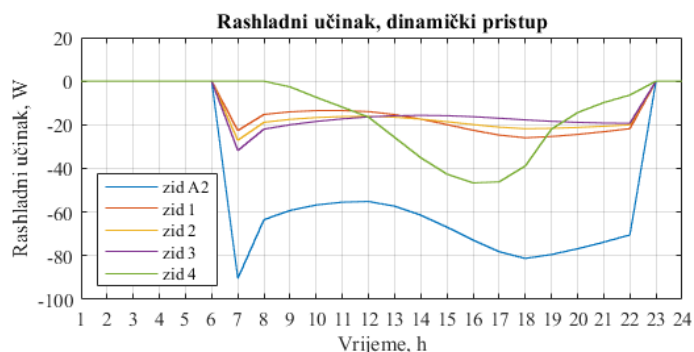
Za opisane uslove određena je promjena unutrašnje temperature u toku noćnog prekida hlađenja, što je dato na Slici 7.

U varijaciji tipa spoljašnjeg zida, pored zida iz datog testa, analizirana su dodatna četiri tipa zidova kojima je zamijenjen spoljašnji zid iz testnih primjera. Tipovi zidova za koje su analizirani uticaji na potrebni rashladni učinak su dati u Tabeli 2.

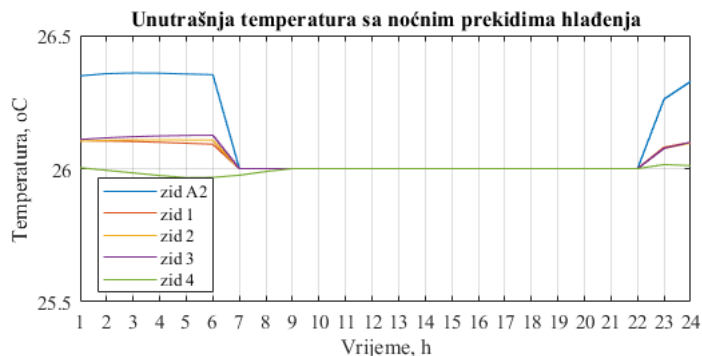
Tabela 2. Analizirani tipovi zidova

	Materijal slojeva zida	Deblji na zida	Masa po površini zida	Koeficijent prolaza toplote U
		m	kg/m <sup>2</sup>	W/(m <sup>2</sup> K)
Sp. zid test A.2	Spoljašnji sloj, toplotna izolacija, opeka, malter	0.340	510	0.486
Zid 1	Spoljašnji sloj, toplotna izolacija, blok opeka, malter	0.330	286	0.275
Zid 2	Spoljašnji sloj, toplotna izolacija, beton, malter	0.360	527	0.275
Zid 3	Klinker opeka, toplotna izolacija, blok opeka, malter	0.445	506	0.267
Zid 4	Panel sa PUR/PIR	0.081	11	0.267

U postavci modela uticaj tipa spoljašnjeg zida analiziran je na način da su u testnim primjerima A.2 varirani tipovi spoljašnjeg zida dok su površina prozora, unutrašnji dobici i broj izmjena vazduha izjednačeni sa nulom. Adijabatski zidovi su ostali nepromijenjeni. Učinci hlađenja sa noćnim prekidom pri takvim uslovima, bazirani na dinamičkom pristupu razmjene toplote, dati su na Slici 6.

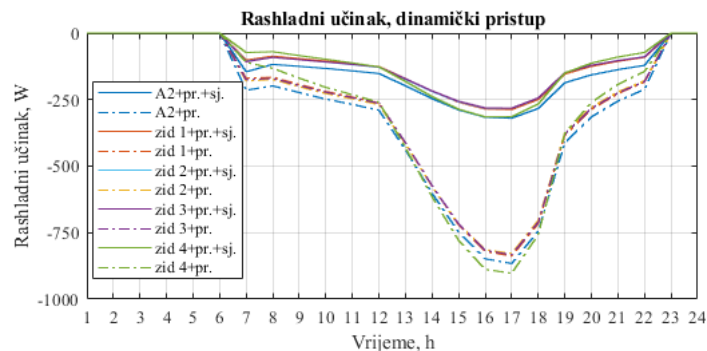


Slika 6. Učinak hlađenja za različite tipove spoljašnjeg zida



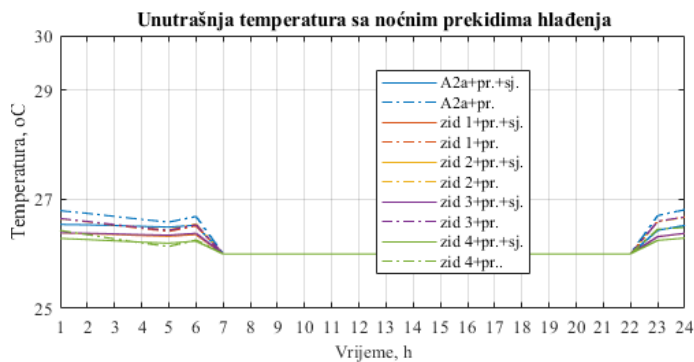
**Slika 7.** Temperature vazduha pri hlađenju sa noćnim prekidom za različite tipove spoljašnjeg zida

U daljnim analizama ponovo je uobziren prozor koji je postavljen na različite tipove spoljašnjeg zida dok su unutrašnji dobici i broj izmjena vazduha izjednačeni sa nulom. Adijabatski zidovi su ostali nepromijenjeni. Učinci hlađenja sa noćnim prekidom za prostoriju sa prozorom bez spoljašnjeg sjenila i prozorom sa spoljašnjim sjenilom, bazirani na dinamičkom pristupu razmjeni toplote, dati su na Slici 8.



**Slika 8.** Učinak hlađenja za različite tipove spoljašnjeg zida sa prozorom sa spoljašnjim sjenilom i bez sjenila

Za opisane uslove određena je promjena unutrašnje temperature u toku noćnog prekida hlađenja, što je dato na Slici 9.

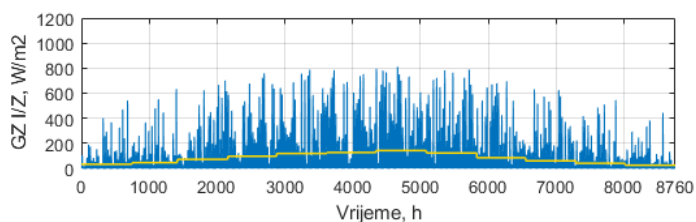


**Slika 9.** Temperature vazduha pri hlađenju sa noćnim prekidom za različite tipove spoljašnjeg zida sa prozorom sa spoljašnjim sjenilom i bez sjenila

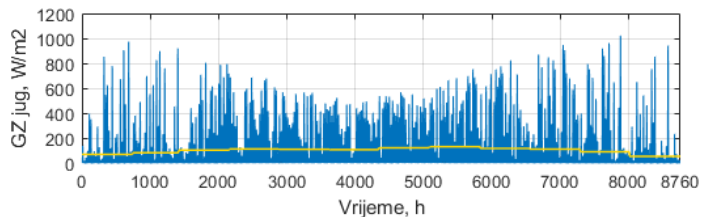
Pri ovoj analizi uočen je dominantan uticaj intenziteta solarnog zračenja koje se propušta kroz prozor u odnosu na uticaj izabranog tipa spoljašnjeg zida.

#### IV. ANALIZA UTICAJA VARIRANJA ULAZNIH FAKTORA NA GODIŠNJE POTREBE ZA ENERGIJOM - STUDIJA SLUČAJA

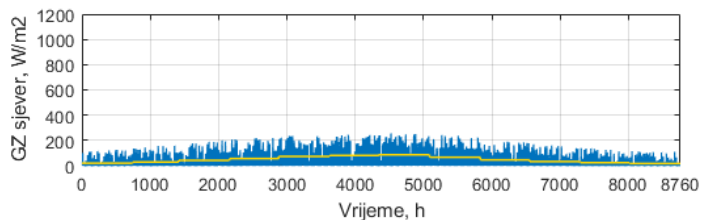
Budući da su u prethodnim primjerima uočeni uticaji variranja ulaznih faktora na potrebni učinak hlađenja, opravdano se nameće pitanje u kojoj mjeri variranje faktora ima uticaj na ukupne potrebe za energijom hlađenja na godišnjem nivou. Za takvu analizu korišteni su podaci o časovnim vrijednostima temperature i solarnog zračenja na vertikalno orjentisane površine za područje Banje Luke. Solarno zračenje za četiri orijentacije vertikalnog zida dato je na Slikama 10 ÷ 12, a podaci o časovnoj promjeni temperature na Slici 13.



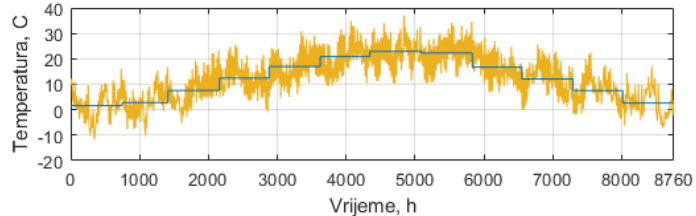
**Slika 10.** Solarno zračenje na vertikalnu površinu istočne i zapadne orijentacije - studija slučaja Banja Luka



**Slika 11.** Solarno zračenje na vertikalnu površinu južne orijentacije - studija slučaja Banja Luka



**Slika 12.** Solarno zračenje na vertikalnu površinu sjeverne orijentacije - studija slučaja Banja Luka



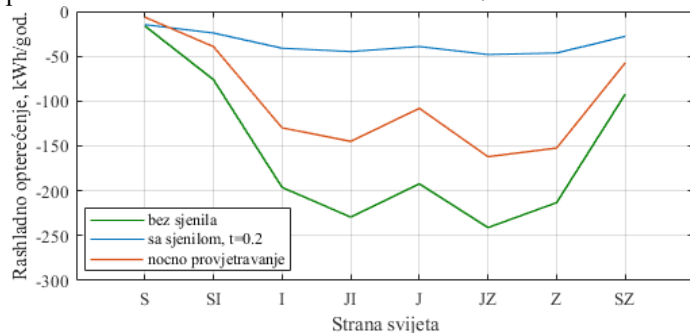
**Slika 13.** Temperature spoljašnjeg vazduha - studija slučaja Banja Luka

Tip prozora koji je usvojen za ovu analizu je prozor sa dvostrukim staklom sa premazom faktora transmisije 0.64. Analiziran je uticaj vanjskog sjenila transparentnosti 0.2. Usvojeni broj izmjene vazduha je 0.5, osim pri analizi noćnog provjetravanja, gdje su korišćene vrijednosti date u Tabeli 3.

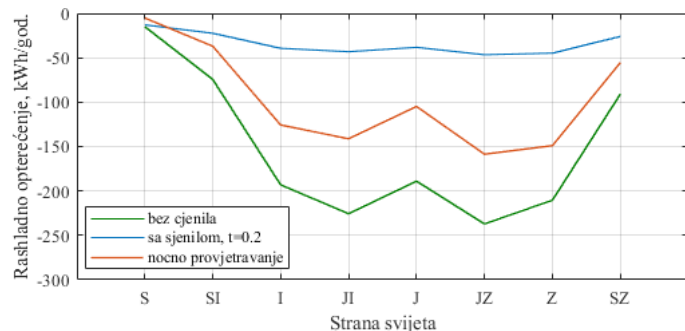
**Tabela 3.** Broj izmjena vazduha - studija slučaja Banja Luka

Vrijeme, h											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Broj izmjena vazduha, 1/h											
5	5	5	5	5	5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Vrijeme, h											
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Broj izmjena vazduha, 1/h											
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	5	5	5	5	5	5

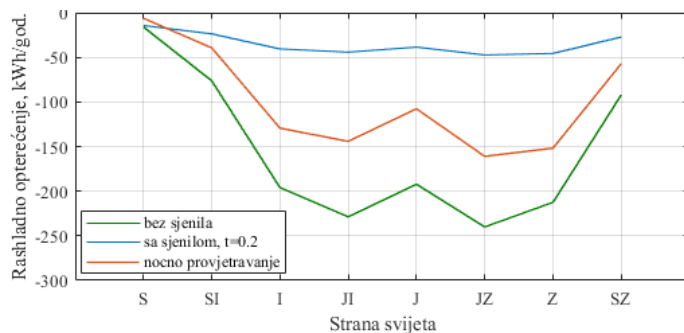
Nakon provedene inicijalizacije procesa za period od 15 dana, preuzeti su rezultati analize varijacije ulaznih faktora dobijeni primjenom razvijenog dinamičkog modela razmjene toplote. Pri tome je analiziran uticaj spoljašnjeg sjenila na prozorima za prostorije sa različitim tipovima zidova i različite orijentacije pri minimalnoj infiltraciji vazduha od 0.5 izmjena vazduha. Pored toga, analiziran je uticaj noćnog provjetravanja, pri čemu su usvojeni prozori prostorije bez spoljašnjeg sjenila. Rezultati sprovedene analize su dati na Slikama 14 ÷ 17.



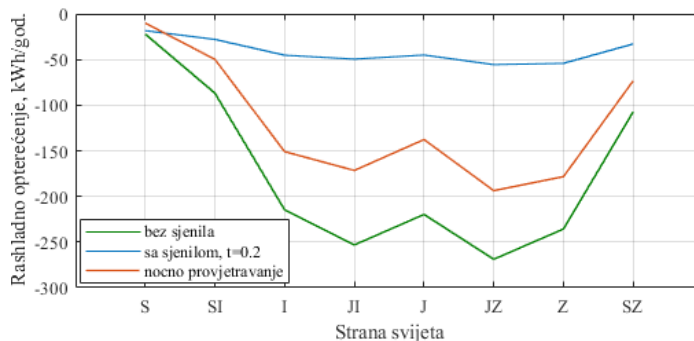
**Slika 14.** Analiza uticaja varijacije ulaznih faktora na promjenu godišnjeg rashladnog opterećenja pri primijeni različito orijentisanog zida 1 kao spoljašnjeg zida sa prozorom - studija slučaja Banja Luka



**Slika 15.** Analiza uticaja varijacije ulaznih faktora na promjenu godišnjeg rashladnog opterećenja pri primijeni različito orijentisanog zida 2 kao spoljašnjeg zida sa prozorom - studija slučaja Banja Luka



**Slika 16.** Analiza uticaja varijacije ulaznih faktora na promjenu godišnjeg rashladnog opterećenja pri primijeni različito orijentisanog zida 3 kao spoljašnjeg zida sa prozorom - studija slučaja Banja Luka



**Slika 17.** Analiza uticaja varijacije ulaznih faktora na promjenu godišnjeg rashladnog opterećenja pri primijeni različito orijentisanog zida 4 kao spoljašnjeg zida sa prozorom - studija slučaja Banja Luka

Pomenuta analiza primijenjena je na prostoriju dimenzija kao u testnom primjeru A.2 datom u standardu EN ISO 52017, sa primjenom četiri tipa spoljašnjeg zida. Period na koji se odnosi analiza je period od šest mjeseci izvan grejne sezone. Na osnovu dijagrama može se vidjeti da rezultati koji se odnose na prva tri tipa zida imaju bliske vrijednosti proračuna, dok za zid 4, sa znatno manjom masom po površini zida i manjim toplotnim kapacitetom, rezultati proračuna imaju znatnija odstupanja. Uticaj redukcije solarnog zračenja je veoma izražen. Uticaj noćnog provjetravanja takođe je izražen, ali je približno ujednačen za sve primijenjene tipove spoljašnjeg zida.

## V. ZAKLJUČAK

Primjenom metodologije simulacije dinamičkih procesa razmjene toplote baziranih na primijeni RC-modela omogućeno je predstavljanje procesa razmjene toplote u veoma bliskoj relaciji sa stvarnim fizičkim procesima. Takav model može biti veoma koristan alat u simulaciji različitih procesa sa varijacijom svih ulaznih faktora radi dobijanja određene tražene informacije. Razvijen model ima izvjesna odstupanja od testnih primjera u vrijednostima operativnih temperatura u uslovima bez grijanja i hlađenja, što najvjerovatnije proizilazi iz aproksimacije određenih procesa koji se odnose na dugotalasno zračenje

(naročito u vezi sa spoljašnjom površinom zida), što je u EPB standardima preporučeno radi pojednostavljenja proračuna.

Rezultati sprovedenih analiza pokazali su u kojoj mjeri na ukupno rashladno opterećenje u toku jedne godine utiču primjene određenih procesa i elemenata orjentisanih na smanjenje ukupnog rashladnog opterećenja. Uočen je dominantan uticaj solarnog zračenja kroz transparentne površine u odnosu na druge uticaje, te da se redukcijom ovog uticaja znatno smanjuje i ukupno rashladno opterećenje. Noćno provjetranje kao mjera smanjenja ukupnog rashladnog opterećenja takođe ima značajan uticaj, ali nešto manje izražen u odnosu na uticaj redukcije solarnog zračenja. Izbor tipa zida takođe ima uticaja na ukupnu dinamiku razmjene toplote, ali bi svoj maksimalan efekat pokazao tek pri sličnoj analizi u režimu grijanja kada je solarno zračenje manje zastupljeno.

#### LITERATURA

- [1] ISO 52017-1:2017: Energy performance of buildings - Sensible and latent heat loads and internal temperatures - Part 1: Generic calculation procedures.
- [2] M. Lauster, *Parametrierbare Gebäudemodelle für dynamische Energiebedarfs-rechnungen von Stadtquartieren*, E.ON Energy Center, RWTH Aachen University, 2018.
- [3] J.D. Spitler, *Load calculation applications manual*. Atlanta: ASHRAE, I-P Edition, 2014.
- [4] ISO 52016-1:2017: Energy performance of buildings - Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads - Part 1: Calculation procedures
- [5] ISO/TR 52016-2:2017: Energy performance of buildings - Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads - Part 2: Explanation and justification of ISO 52016-1 and ISO 52017-1
- [6] J.A. Duffie, W.A.Beckman, *Solar engineering of thermal processes*. Atlanta: John Wiley & Sons, Inc, New Jersey, 2013.
- [7] L.Adelard, F.Pignolet-Tarden, T.Mara, P.Lauret, F.Garde, H.Boyer, "Sky temperature modelisation and applications in building simulation", *Elesvier Science, Renewable Energy* 15, 1998, pp. 418-430.

#### AUTORI

**Prvi autor** – Mr Svetlana Dumonjić-Milovanović, Partner inženjering d.o.o. Banja Luka, svetlana.dumonjic@gmail.com

**Drugi autor** – Prof. dr Petar Gvero, Redovni profesor, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet Banja Luka, petar.gvero@mf.unibl.org

**Treći autor** – Prof. dr Zdravko Milovanović, Redovni profesor, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet Banja Luka, zdravko.milovanovic@mf.unibl.org

**Autor za korespondenciju** – Mr Svetlana Dumonjić-Milovanović, Partner inženjering d.o.o. Banja Luka, svetlana.dumonjic@gmail.com