

## Uticaj orijentacije individualnog stambenog objekta sa staklenom verandom na potrošnju energije i emisiju CO<sub>2</sub>

ANA V. VUKADINOVIĆ, Univerzitet u Nišu,

Fakultet zaštite na radu, Niš

JASMINA M. RADOSAVLJEVIĆ, Univerzitet u Nišu,

Fakultet zaštite na radu, Niš

AMELIJA V. ĐORĐEVIĆ, Univerzitet u Nišu,

Fakultet zaštite na radu, Niš

Originalni naučni rad

UDC: 697.7:620.92

DOI: 10.5937/tehnika2005563V

*U radu je razmatran uticaj orijentacije pasivnog individualnog objekta sa staklenom verandom, pri različitim procentima ostakljenjima (WWR=20%, WWR=40% i WWR=60%), na energetske potrebe objekta u pogledu potrebne energije za njegovo grejanje i hlađenje. Takođe je izračunata emisija CO<sub>2</sub>, kao gasa sa efektom staklene bašte, koja nastaje pri sagorevanju fosilnih goriva koja se koriste za dobijanje električne energije za grejanje objekta u zimskom periodu i njegovo hlađenje u letnjim mesecima. U radu je, za više različitih orijentacija modela individualnog objekta sa staklenom verandom, izračunata potrebna energija za grejanje i hlađenje objekta korišćenjem softvera EnergyPlus. Razmatrani model objekta je spratnosti P, površine osnove  $P_o=92.16 \text{ m}^2$ , sa odnosom strana osnove 2.25:1. Staklena veranda kod razmatranog modela je postavljena celom dužinom fasade zgrade i njena širina iznosi 1.2 m. Istraživanje je vršeno za lokalitet grada Niša (43°19' severne geografske širine i 21°54' istočne geografske dužine na nadmorskoj visini od 202 m). Pri razmatranju ukupne potrebne energije za grejanje i hlađenje i ukupne godišnje mase emitovanog polutanta CO<sub>2</sub>, istraživanje je pokazalo da je najpovoljnija orijentacija objekta ka jugu (azimut fasade sa staklenom verandom  $\Psi=185^\circ$  za procenat ostakljenja WWR=20% i WWR=40% i  $\Psi=180^\circ$  za procenat ostakljenja WWR=60%).*

**Ključne reči:** individualni stambeni objekat, staklena veranda, orijentacija, potrošnja energije, emisija CO<sub>2</sub>

### 1. UVOD

Energetska, ekološka i ekonomska kriza su značajno uticale na napredak i razvoj društva, na urbanizam, građevinarstvo i arhitekturu. To je doprinelo razvoju solarne arhitekture kroz primenu aktivne i pasivne solarne tehnike [1-5].

Principi urbanističkog planiranja, prilikom projektovanja pasivnih solarnih objekata, predstavljaju značajnu odrednicu njihovih energetskih svojstava i uštede energije. Urbanistički parametri sadrže osnovne karakteristike mikrolokacije kao što su konfiguracija terena, osunčanost, zelenilo i drugi, kao i dispoziciju i orijentaciju zgrade [2]. Poznavanje i optimalna primena navedenih parametara, može omogućiti bolju ener-

getsku efikasnost objekta, tako da se u zimskom periodu iskoristi povoljnost toplotnih dobitaka od Sunca a smanje toplotni gubici iz objekta, dok je u letnjem periodu potrebno sprečiti prekomerne dobitke od Sunca i omogućiti odvođenje toplote iz objekta [5, 6]. Staklene verande kod individualnih stambenih objekata predstavljaju pasivni sistem koji se bazira na „greenhouse efektu“.

Kod objekata sa staklenom verandom istraživana je i njihova tipologija koja je prikazana u radovima [7, 8]. Potencijal primene staklenih verandi na objektima namenjenih stanovanju, određivanje njihovih optimalnih karakteristika i dimenzija, istraživani su za različite klimatske uslove u radovima: [9-13].

Kako bi se obezbedilo racionalno korišćenje energije Sunca kod stambenih objekata sa staklenom verandom, potrebno je u fazi urbanističkog planiranja, odrediti njihovu optimalnu orijentaciju. Orijetaciju zgrade potrebno je prilagoditi klimatskim uslovima prostora u kome se zgrada nalazi. Uticaj na potrošnju

Adresa autora: Ana Vukadinović, Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu, Niš, Čarnojevića 10 a

e-mail: ana.vukadinovic@znrak.ni.ac.rs

Rad primljen: 13.07.2020.

Rad prihvaćen: 24.07.2020.

energije za grejanje i hlađenje imaju i veličina, oblik, tip i mesto postavljanja prozorskih otvora [14]. Kod pasivnih solarnih zgrada, na toplotne gubitke zimi i toplotne dobitke u toku leta utiče i procenat ostakljenja (window to wall ratio – WWR) koji predstavlja procentualni udeo transparentnih površina u odnosu na netransparentne fasadne površine.

U radu se razmatra uticaj orijentacije pasivnog individualnog stambenog objekta sa staklenom verandom na energetske performanse objekta pri različitom procentu ostakljenja (WWR=20%, WWR=40% i WWR=60%).

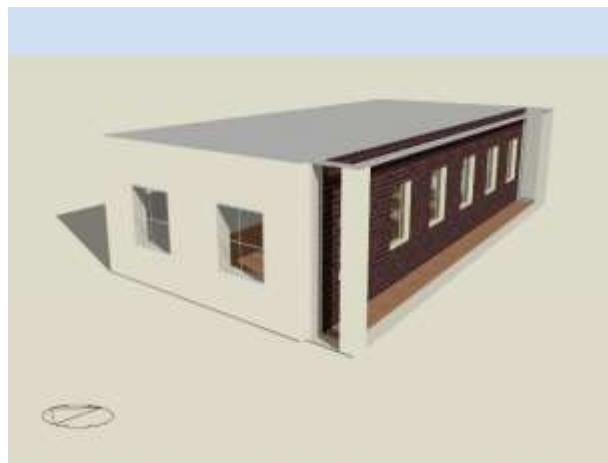
## 2. MODEL OBJEKTA SA STAKLENOM VERANDOM

Uticaj orijentacije zgrade i ostakljenja fasada zgrade (WWR=20%, WWR=40% i WWR=60%,) za varijante MODELA – I S1, individualnog objekta sa staklenom verandom na potrebnu energiju za grejanje i hlađenja razmatran je u radu metodom dinamičke simulacije. Proračun energetskih svojstava zgrade metodom dinamičke simulacije sprovodi se pomoću simulacija koje se baziraju na jednačinama toplotnog bilansiranja zgrade. U radu je korišćen softver EnergyPlus [15], za istraživanje energetskih svojstava individualne pasivne solarne zgrade sa staklenom verandom, metodom detaljne dinamičke simulacije. Za dinamičke simulacije u softveru EnergyPlus potrebno je definisati veliki broj ulaznih podataka. Ovi podaci obuhvataju određivanje lokacije i pozicije objekta, definisanje spoljašnjih meteoroloških uslova kojima je objekat izložen, modelovanje geometrije zgrade, modelovanje strukture i vrste materijala omotača zgrade kao i režima korišćenja zgrade i energetskih sistema.

Definisana lokacija MODELA – I S1 objekta sa staklenom verandom za koji su izvršene simulacije u softveru EnergyPlus je grad Niš, koji je pozicioniran na  $43^{\circ}19'$  severne geografske širine i  $21^{\circ}54'$  istočne geografske dužine na nadmorskoj visini od 202 m.

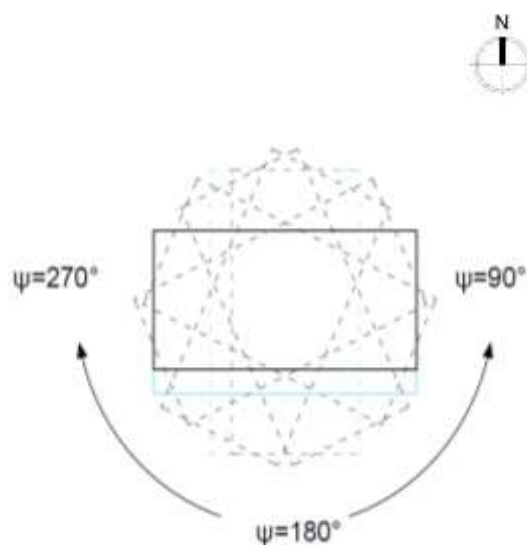
Razmatrani MODEL – I S1 individualnog stambenog objekta sa staklenom verandom je spratnosti P, površine osnove  $P_o=92.16 \text{ m}^2$ . Odnos strana osnove razmatranog modela je 2.25:1 [16]. Spratna visina modela je  $H=3 \text{ m}$ , zapremina grejanog dela zgrade je  $V=276.48 \text{ m}^3$  [16]. Staklena veranda je postavljena celom dužinom fasade zgrade. Dužina osnove staklene verande je 14.40 m a njena širina je 1.20 m. Površina osnove staklene verande je  $P_s=17.28 \text{ m}^2$ . Na slici 1 dat je prikaz geometrije modela objekta sa staklenom verandom za koji su izvršene simulacije.

Procenat ostakljenja staklene verande modela je WWR=100% (staklena veranda je potpuno ostakljena), a procenat ostakljenja fasada zgrade razmatran je pri WWR=20%, WWR=40% i WWR=60%.



Slika 1 - Trodimenzionalni prikaz geometrije MODELA – I S1 objekta sa staklenom verandom

U radu, južna orijentacija ima  $\Psi=180^{\circ}$  ( $\Psi$  je azimut fasade sa staklenom verandom) istočna orijentacija je  $\Psi=90^{\circ}$  a zapadna orijentacija je  $\Psi=270^{\circ}$  (slika 2). Istraživanje orijentacije sprovedeno je za južnu orijentaciju objekta kao i za otklon prema istoku i zapadu sa korakom od  $5^{\circ}$  (za svaku narednu simulaciju ugao  $\Psi$  je veći za  $5^{\circ}$ , od  $\Psi=90^{\circ}$  do  $\Psi=270^{\circ}$ ).



Slika 2 - Razmatrane orijentacije MODELA – I S1, (za ugao  $\Psi=90^{\circ}$  do  $\Psi=270^{\circ}$ , za svaku narednu simulaciju ugao  $\Psi$  je veći za  $5^{\circ}$ )

Pri definisanju modela objekta sa staklenom verandom definisani su i elementi termičkog omotača.

U tabeli 1. date su vrednosti koeficijenta prolaza toplote „ $U$ “ za fasadne zidove, podnu i krovnu konstrukciju i prozore osnovnog modela individualnog pasivnog stambenog objekata sa staklenom verandom. Projektna temperatura sistema za grejanje iznosi  $20^{\circ}\text{C}$ , dok je projektna temperatura sistema za hlađenje  $25^{\circ}\text{C}$ . Infiltracija vazduha razmatranih modela objekta je  $0.700 \text{ ac/h}$ .

Tabela 1. Vrednosti koeficijenta  $U$  za definisane elemente termičkog omotača zgrade [17]

Vrsta konstrukcije	$U$ [ $W/m^2K$ ]
Fasadni zid	0.29
Pod na tlu	0.28
Ravan krov	0.15
Prozori	1.50
Staklena veranda	1.50

### 3. REZULTATI I ANALIZA

#### 3.1 Analiza potrebne energije za grejanje i hlađenje varijanti MODEL A – I S1 različite orijentacije

Za razmatrani MODEL – I S1, pasivne solarne zgrade sa staklenom verandom, različite orijentacije i za različite procenat ostakljenja (WWR=20%, WWR=40% i WWR=60%) izvršene su dinamičke simulacije u softverskom paketu EnergyPlus i izračunata je potrebna energija za funkcionisanje zgrade tokom cele godine.

U tabeli 2. prikazani su rezultati dobijeni simulacijom, potrebne energija za grejanje, potrebne energije za hlađenje i ukupne godišnje potrebne energija za grejanje i hlađenje individualnog stambenog objekta sa staklenom verandom za MODEL – I S1 pri ostakljenju WWR=20%, WWR=40% i WWR=60%.

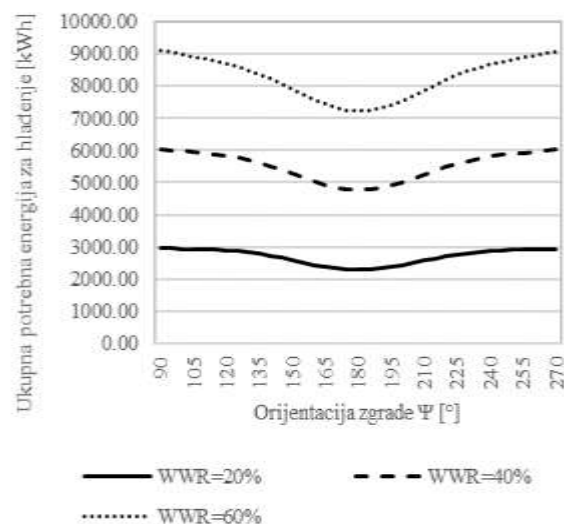
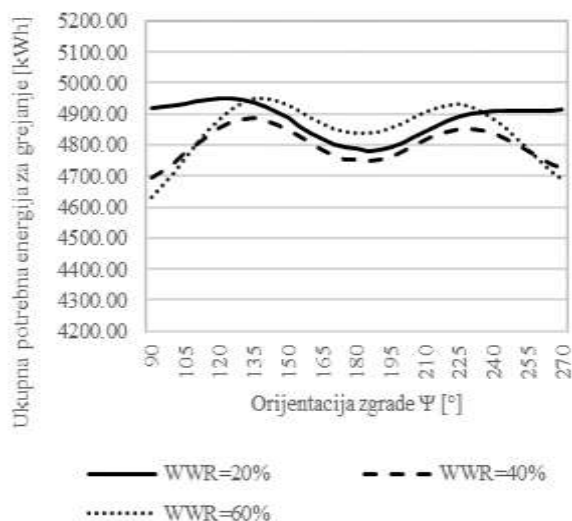
Na slici 3. prikazana je ukupna godišnja potrebna energija za grejanje individualnog stambenog objekta sa staklenom verandom, za MODEL – I, za razmatran procenat ostakljenja fasada zgrade (WWR=20%, WWR=40% i WWR=60%) pri orijentaciji objekta ( $\Psi$ ).

Na slici 4. prikazana je ukupna godišnja potrebna energija za hlađenje stambenog objekta sa staklenom verandom za varijantu MODEL – I S1 za razmatran različit procenat ostakljenja fasada zgrade WWR=20%, WWR=40% i WWR=60%. Na slici 5. dat je prikaz ukupne godišnje potrebne energije za grejanje i hlađenje individualnog stambenog objekta sa staklenom verandom za MODEL – I S1 za različit procenat ostakljenja fasada zgrade (WWR=20%, WWR=40% i WWR=60%) i orijentaciju zgrade ( $\Psi$ ).

Tabela 2. Potrebna energija za grejanje i potrebna energija za hlađenje i ukupna godišnja potrebna energija za grejanje i hlađenje za varijante MODEL A – I S1 pri ostakljenju fasade zgrade WWR=20%, WWR=40% i WWR=60% i različitim orijentacijama zgrade ( $\Psi$ )

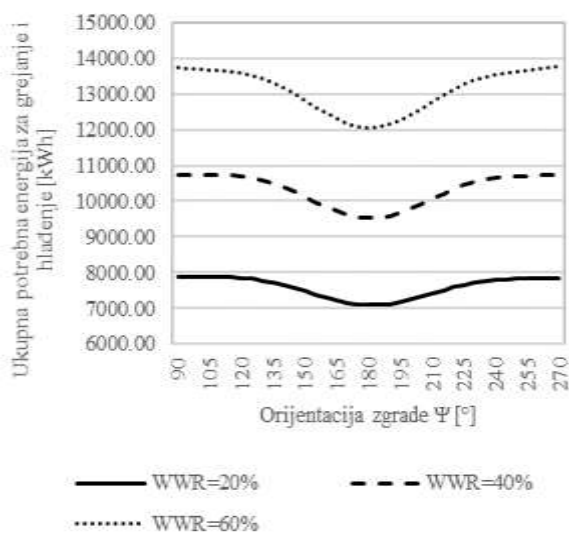
Orijentacija zgrade ( $\Psi$ )	MODEL – I S1								
	Procenat ostakljenja WWR 20%			Procenat ostakljenja WWR 40%			Procenat ostakljenja WWR 60%		
	Potrebna energija grejanje [kWh]	Potrebna energija hlađenje [kWh]	Ukupna potrebna energija za grejanje i hlađenje [kWh]	Potrebna energija grejanje [kWh]	Potrebna energija hlađenje [kWh]	Ukupna potrebna energija za grejanje i hlađenje [kWh]	Potrebna energija grejanje [kWh]	Potrebna energija hlađenje [kWh]	Ukupna potrebna energija za grejanje i hlađenje [kWh]
90°	4917.52	2949.81	7867.33	4692.72	6044.31	10737.03	4631.47	9115.86	13747.33
95°	4921.75	2945.94	7867.69	4718.11	6012.34	10730.45	4670.71	9043.87	13714.58
100°	4927.36	2941.84	7869.20	4745.79	5982.21	10728.00	4713.38	8977.12	13690.50
105°	4933.88	2936.57	7870.45	4774.82	5952.74	10727.56	4758.25	8914.51	13672.76
110°	4940.68	2928.20	7868.88	4803.90	5920.90	10724.80	4803.41	8850.58	13653.99
115°	4946.70	2915.22	7861.92	4831.25	5883.34	10714.59	4846.88	8781.69	13628.57
120°	4950.50	2895.55	7846.05	4854.77	5837.12	10691.89	4885.47	8703.56	13589.03
125°	4950.99	2867.08	7818.07	4872.60	5778.00	10650.60	4916.56	8610.78	13527.34
130°	4947.18	2828.60	7775.78	4883.20	5704.16	10587.36	4938.57	8500.76	13439.33
135°	4938.34	2779.98	7718.32	4885.57	5614.52	10500.09	4950.07	8372.23	13322.30
140°	4924.63	2721.63	7646.26	4879.80	5510.31	10390.11	4951.41	8225.54	13176.95
145°	4906.64	2655.29	7561.93	4866.93	5394.19	10261.12	4943.73	8065.02	13008.75
150°	4885.50	2584.16	7469.66	4848.60	5270.78	10119.38	4928.99	7896.11	12825.10
155°	4862.87	2512.09	7374.96	4827.30	5146.34	9973.64	4909.96	7726.75	12636.71
160°	4840.50	2444.10	7284.60	4805.29	5028.53	9833.82	4889.61	7566.68	12456.29
165°	4819.95	2385.15	7205.10	4784.53	4925.71	9710.24	4870.03	7427.49	12297.52
170°	4802.83	2339.30	7142.13	4767.39	4845.20	9612.59	4853.69	7317.95	12171.64
175°	4795.00	2315.20	7110.20	4754.88	4793.07	9547.95	4842.14	7247.05	12089.19

Orijentacija zgrade ( $\Psi$ )	MODEL – I S1								
	Procenat ostakljenja WWR 20%			Procenat ostakljenja WWR 40%			Procenat ostakljenja WWR 60%		
	Potrebna energija grejanje [kWh]	Potrebna energija hlađenje [kWh]	Ukupna potrebna energija za grejanje i hlađenje [kWh]	Potrebna energija grejanje [kWh]	Potrebna energija hlađenje [kWh]	Ukupna potrebna energija za grejanje i hlađenje [kWh]	Potrebna energija grejanje [kWh]	Potrebna energija hlađenje [kWh]	Ukupna potrebna energija za grejanje i hlađenje [kWh]
180°	4790.15	2310.20	7100.35	4751.31	4790.60	9541.91	4836.49	7220.53	12057.02
185°	4781.14	2308.72	7089.86	4747.74	4788.13	9535.87	4837.05	7240.14	12077.19
190°	4785.09	2336.07	7121.16	4753.37	4835.51	9588.88	4843.73	7304.52	12148.25
195°	4794.06	2380.52	7174.58	4764.23	4912.72	9676.95	4855.69	7408.98	12264.67
200°	4807.44	2437.71	7245.15	4779.48	5012.43	9791.91	4871.47	7544.23	12415.70
205°	4823.97	2503.93	7327.90	4797.19	5127.61	9924.80	4889.22	7700.63	12589.85
210°	4842.05	2574.61	7416.66	4815.38	5250.01	10065.39	4906.5	7868.45	12774.95
215°	4860.06	2644.80	7504.86	4831.99	5371.62	10203.61	4920.69	8035.68	12956.37
220°	4876.56	2710.02	7586.58	4844.98	5486.58	10331.56	4929.62	8194.83	13124.45
225°	4890.29	2767.47	7657.76	4852.39	5589.80	10442.19	4931.01	8340.19	13271.20
230°	4900.61	2815.59	7716.20	4853.43	5678.55	10531.98	4923.85	8467.83	13391.68
235°	4907.42	2853.56	7760.98	4847.95	5751.86	10599.81	4907.9	8577.18	13485.08
240°	4911.05	2881.51	7792.56	4836.58	5810.41	10646.99	4884.06	8669.29	13553.35
245°	4912.22	2900.80	7813.02	4820.57	5856.70	10677.27	4854.27	8747.07	13601.34
250°	4911.93	2913.35	7825.28	4801.53	5893.67	10695.20	4821.06	8814.74	13635.80
255°	4910.90	2921.43	7832.33	4781.04	5925.83	10706.87	4786.14	8878.41	13664.55
260°	4910.29	2926.64	7836.93	4760.74	5956.13	10716.87	4751.68	8941.87	13693.55
265°	4910.70	2930.75	7841.45	4741.62	5987.26	10728.88	4718.93	9008.81	13727.74
270°	4912.51	2935.19	7847.70	4724.54	6020.75	10745.29	4689.03	9081.46	13770.49



Slika 3 - Ukupna godišnja potrebna energije za grejanje stambenog objekta sa staklenom verandom za varijantu MODEL A – I S1 pri procentu ostakljenja WWR=20%, WWR=40% i WWR=60% za orijentaciju objekta:  $\Psi=90^\circ$  do  $\Psi=270^\circ$

Slika 4 - Ukupna godišnja potrebna energija za hlađenje stambenog objekta sa staklenom verandom za MODEL – I S1 pri procentu ostakljenja WWR=20%, WWR=40% i WWR=60% za orijentaciju objekta:  $\Psi=90^\circ$  do  $\Psi=270^\circ$



Slika 5 - Ukupna godišnja potrebna energije za grejanje i hlađenje stambenog objekta sa staklenom verandom za MODEL – I S1 pri procentu ostakljenja WWR=20%, WWR=40% i WWR=60% za orijentaciju objekta:  $\Psi=90^\circ$  do  $\Psi=270^\circ$

Rezultati dobijeni simulacijom, koji su prikazani u tabeli 2 i na slikama 3, 4, i 5, pokazuju da je najpovoljnija orijentacija individualnog pasivnog solarnog objekta sa staklenom verandom južne orijentacije,  $\Psi=185^\circ$ . Pri ovoj orijentaciji ukupna potrebna energija za grejanje i hlađenje objekta za MODEL – I S1 (WWR=20% i WWR=40%) je najmanja. Pri procentu ostakljenja WWR=60% najpovoljnija orijentacije objekta je za  $\Psi=180^\circ$ .

Za procenat ostakljenja WWR=20% MODEL – I S1, potrebna energija za grejanje zgrade najmanja je kod južne orijentacije ( $\Psi=185^\circ$ ) i iznosi 4781.14 kWh. Za isti procenat ostakljenja potrebna energija za hlađenje najmanja je pri orijentaciji  $\Psi=185^\circ$  i iznosi 2308.72 kWh. Ukupna potrebna energija za grejanje i hlađenje najmanja je pri orijentaciji  $\Psi=185^\circ$  i iznosi 7089.86 kWh.

Za procenat ostakljenja WWR=40% MODEL – I S1, potrebna energija za grejanje zgrade najmanja je pri orijentaciji  $\Psi=90^\circ$ , i iznosi 4692.72 kWh. Za isti procenat ostakljenja potrebna energija za hlađenje najmanja je pri orijentaciji  $\Psi=185^\circ$  i iznosi 4788.13 kWh. Takođe, ukupna potrebna energija za grejanje i hlađenje najmanja je pri orijentaciji  $\Psi=185^\circ$  i iznosi 9535.87 kWh.

Za procenat ostakljenja WWR=60% MODEL – I S1, potrebna energija za grejanje zgrade najmanje je pri orijentaciji  $\Psi=90^\circ$  i iznosi 4631.47 kWh. Za isti procenat ostakljenja potrebna energija za hlađenje najmanja je pri orijentacije  $\Psi=180^\circ$  i iznosi 7220.53 kWh. Ukupna potrebna energija za grejanje i hlađenje

najmanja pri istoj orijentaciji ( $\Psi=180^\circ$ ) i iznosi 12057.02 kWh.

Za procenat ostakljenja WWR=20% (MODEL – I S1), razlika između najmanje i najveće potrebne energije za grejanje (MODEL – I S1  $\Psi=185^\circ$  i MODEL – I S1  $\Psi=125^\circ$ ) je 3.55%. Za procenat ostakljenja WWR=40%, razlika između najmanje i najveće potrebne energije za grejanje (MODEL – I S1  $\Psi=90^\circ$  i MODEL – I S1  $\Psi=135^\circ$ ) je 4.10%. Za procenat ostakljenja WWR=60%, razlika između najmanje i najveće potrebne energije za grejanje (MODEL – I S1  $\Psi=90^\circ$  i MODEL – I S1  $\Psi=140^\circ$ ) je 6.9% (slika 3).

Sa povećanjem procenta ostakljenja zgrade dolazi do povećanja potrebne energije za hlađenje zgrade. Pri procentu ostakljenja WWR=60%, razlika između maksimalne i minimalne potrebne energije za hlađenje zgrade veća je nego kod procenta ostakljenja WWR=20% ili WWR=40% (slika 4). Pri procentu ostakljenja WWR=20%, razlika između maksimalne i minimalne potrošnje je 639.61 kWh, pri procentu ostakljenja WWR=40% ova razlika iznosi 1253.71 kWh a za WWR=60% razlika je 1895.33 kWh.

Za procenat ostakljenja WWR=20% za MODEL – I S1, ukupna potrebna energije za grejanje i hlađenje najmanja je za orijentaciju  $\Psi=185^\circ$  i iznosi 7089.85 kWh. Za WWR=20%, najveća ukupna potrebna energije za grejanje i hlađenje je pri orijentaciji  $\Psi=105^\circ$  MODEL – I S1 i iznosi 7870.45 (11.01% više u odnosu na MODEL – I S1 orijentacije  $\Psi=185^\circ$ ).

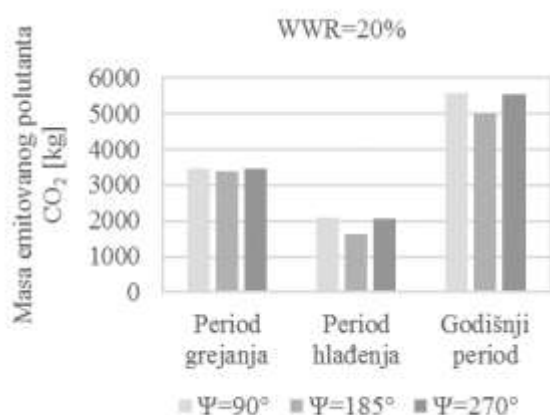
Pri procentu ostakljenja WWR=40% za MODEL – I S1, ukupna potrebna energije za grejanje i hlađenje najmanja je pri orijentaciji  $\Psi=185^\circ$  i iznosi 9535.87 kWh. Za WWR=40%, najveća ukupna potrebna energije za grejanje i hlađenje je pri orijentaciji  $\Psi=90^\circ$  i iznosi 10737.03 kWh (12.55% više u odnosu na MODEL – I S1 orijentacije  $\Psi=185^\circ$ ).

Za procenat ostakljenja WWR=60% MODEL – I S1, ukupna potrebna energije za grejanje i hlađenje najmanja je za orijentaciju  $\Psi=180^\circ$  i iznosi 12057.02 kWh. Za WWR=60%, najveća ukupna potrebna energije za grejanje i hlađenje je pri orijentaciji  $\Psi=90^\circ$  MODEL – I S1 i iznosi 13747.33 kWh što je za 14.02% više u odnosu na MODEL – I S1 koji je orijentacije  $\Psi=180^\circ$ .

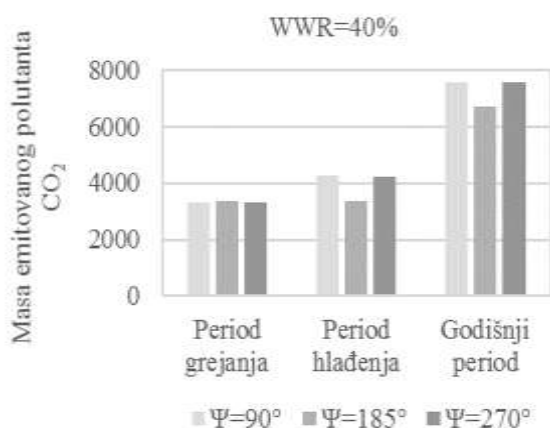
### 3.2 Analiza emisija polutanta $CO_2$ pri upotrebi energije za grejanje i hlađenje varijanti MODEL – I S1 različite orijentacije

Kod individualnih stambenih objekata, emisije polutanata u vazduh nastaju u procesu sagorevanja fosilnih goriva koja se koriste u zimskim mesecima sistemima za grejanje, a u letnjim mesecima sistemima za hlađenje objekta. U cilju praćenja emisije zagađujućih supstanci koje nastaju sagorevanjem fosilnih goriva, za grejanje i hlađenje stambenog objekta sa

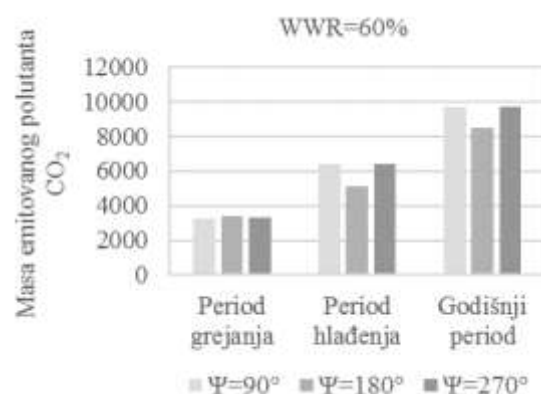
staklenom verandom, izračunate su mase emitovanog polutanta CO<sub>2</sub>. Modelovanje emisije polutanata bazira se na normiranju emisija dobijenih sagorevanjem jedinične količine (mase ili zapremine) fosilnog goriva (emisionih faktora) [1]. U radu je za grejanje i hlađenje objekta korišćena električna energija. U svetu i kod nas, za proizvodnju električne energije, najviše se koristi lignit. Sa aspekta doprinosa zagađenja vazduha, koje nastaje pri sagorevanju lignita, dolazi do emitovanja većih koncentracija NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, kao i nestandardnih zagađujućih supstanci CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> i čestica prečnika reda veličine ispod 10 μm koje se javljaju u kratkotrajnoj emisiji [1]. Na slikama 6, 7 i 8 prikazana je masa emitovanog polutanta CO<sub>2</sub> za MODEL I - S1, za procenat ostakljenja WWR=20%, WWR=40% i WWR=60% pri orijentaciji objekta sa staklenom verandom ka jugu ( $\Psi=180^\circ$ ,  $\Psi=185^\circ$ ), orijentaciji objekta ka istoku ( $\Psi=90^\circ$ ) i zapadu ( $\Psi=270^\circ$ )



Slika 6 - Ukupna masa emitovanog polutanta CO<sub>2</sub> za MODEL I-S1 različite orijentacije objekta ( $\Psi=90^\circ$ ,  $\Psi=185^\circ$  i  $\Psi=270^\circ$ ) pri procentu ostakljenja WWR=20%



Slika 7 - Ukupna masa emitovanog polutanta CO<sub>2</sub> za MODEL I-S1 različite orijentacije objekta ( $\Psi=90^\circ$ ,  $\Psi=185^\circ$  i  $\Psi=270^\circ$ ) pri procentu ostakljenja WWR=40%



Slika 8 - Ukupna masa emitovanog polutanta CO<sub>2</sub> za MODEL I-S1, različite orijentacije objekta ( $\Psi=90^\circ$ ,  $\Psi=185^\circ$  i  $\Psi=270^\circ$ ) pri procentu ostakljenja WWR=60%

Za procenat ostakljenja WWR=20% za MODEL - I S1, ukupna godišnja masa emitovanog polutanta CO<sub>2</sub>, najmanja je za orijentaciju  $\Psi=185^\circ$  i iznosi 4993.44 kg. Za WWR=20%, ukupna godišnja masa emitovanog polutanta CO<sub>2</sub> pri orijentaciji  $\Psi=90^\circ$  MODEL - I S1 i iznosi 5541.02 kg (10.97% više u odnosu na MODEL - I S1 orijentacije  $\Psi=185^\circ$ ). Za WWR=20%, ukupna godišnja masa emitovanog polutanta CO<sub>2</sub> pri orijentaciji  $\Psi=270^\circ$  MODEL - I S1 i iznosi 5527.20 kg (10.69% više u odnosu na MODEL - I S1 orijentacije  $\Psi=185^\circ$ ).

Za procenat ostakljenja WWR=40% za MODEL - I S1, ukupna godišnja masa emitovanog polutanta CO<sub>2</sub>, najmanja je za orijentaciju  $\Psi=185^\circ$  i iznosi 6716.19 kg. Za WWR=40%, ukupna godišnja masa emitovanog polutanta CO<sub>2</sub> pri orijentaciji  $\Psi=90^\circ$  MODEL - I S1 i iznosi 7562.18 kg (12.60% više u odnosu na MODEL - I S1 orijentacije  $\Psi=185^\circ$ ). Za WWR=40%, ukupna godišnja masa emitovanog polutanta CO<sub>2</sub> pri orijentaciji  $\Psi=270^\circ$  MODEL - I S1 i iznosi 7568.00 kg (12.68% više u odnosu na MODEL - I S1 orijentacije  $\Psi=185^\circ$ ).

Za procenat ostakljenja WWR=60% za MODEL - I S1, ukupna godišnja masa emitovanog polutanta CO<sub>2</sub>, najmanja je za orijentaciju  $\Psi=180^\circ$  i iznosi 8491.86 kg. Za WWR=60%, ukupna godišnja masa emitovanog polutanta CO<sub>2</sub> pri orijentaciji  $\Psi=90^\circ$  MODEL - I S1 i iznosi 9682.36 kg (14.02% više u odnosu na MODEL - I S1 orijentacije  $\Psi=180^\circ$ ). Za WWR=60%, ukupna godišnja masa emitovanog polutanta CO<sub>2</sub> pri orijentaciji  $\Psi=270^\circ$  MODEL - I S1 i iznosi 9698.67 kg (14.21% više u odnosu na MODEL - I S1 orijentacije  $\Psi=180^\circ$ ).

#### 4. ZAKLJUČAK

Smanjenje emisije gasovitih polutanata koji se oslobađaju sagorevanjem goriva za grejanje ili

hlađenje pasivnih solarnih objekata, postiže se primenom pasivnih sistema sa staklenom verandom na objektima optimalne orijentacije.

Pri razmatranju ukupne potrebne energije za grejanje i hlađenje, istraživanje je pokazalo da je najpovoljnija orijentacija objekta ka jugu ( $\Psi=185^\circ$  za procenat ostakljenja  $WWR=20\%$  i  $WWR=40\%$  i  $\Psi=180^\circ$  za procenat ostakljenja  $WWR=60\%$ ,  $\Psi$  je azimut fasade sa staklenom verandom). Za  $WWR=20\%$ , ukupna potrebna energije za grejanje i hlađenje pri orijentaciji  $\Psi=105^\circ$  viša je za 11.01% više u odnosu na MODEL – I S1 orijentacije  $\Psi=185^\circ$ . Za  $WWR=40\%$ , ukupna potrebna energije za grejanje i hlađenje pri orijentaciji  $\Psi=90^\circ$  viša je za 12.55% više u odnosu na MODEL – I S1 orijentacije  $\Psi=185^\circ$ , dok je pri  $WWR=60\%$  istog modela, viša za 14.02%.

Takođe, pri razmatranju ukupne godišnje mase emitovanog polutanta  $CO_2$ , istraživanje je pokazalo da je najpovoljnija orijentacija objekta ka jugu ( $\Psi=185^\circ$  za procenat ostakljenja  $WWR=20\%$  i  $WWR=40\%$  i  $\Psi=180^\circ$  za procenat ostakljenja  $WWR=60\%$ ). Za  $WWR=20\%$ , ukupna godišnja masa emitovanog polutanta  $CO_2$  pri orijentaciji  $\Psi=270^\circ$ , MODEL – I S1 viša je 10.69% u odnosu na MODEL – I S1 orijentacije  $\Psi=185^\circ$ . Za  $WWR=40\%$ , ukupna godišnja masa emitovanog polutanta  $CO_2$  pri orijentaciji  $\Psi=270^\circ$  MODEL – I S1 viša je 12.68% u odnosu na MODEL – I S1 orijentacije  $\Psi=185^\circ$ . Za  $WWR=60\%$ , ukupna godišnja masa emitovanog polutanta  $CO_2$  pri orijentaciji  $\Psi=270^\circ$  MODEL – I S1 viša je 14.21% u odnosu na MODEL – I S1 orijentacije  $\Psi=180^\circ$ .

Rezultati istraživanja su pokazali da je najmanja potrebna energija za grejanje i hlađenje potrebna kod modela objekta sa staklenom verandom južne orijentacije. Pri urbanističkom planiranju novih naselja ili rekonstrukciji postojećih, potrebno je, u meri u kojoj urbanistički uslovi to dozvoljavaju, primeniti južnu orijentaciju individualnih objekata sa staklenom verandom.

## 5. ZAHVALNICA

Objavljeni rad predstavlja rezultat istraživanja koje je finansiralo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

## LITERATURA

- [1] Radosavljević J, Ekološki i ekonomski aspekti solarne energetike, *Tehnika*, Vol. 62 (5), 2008, pp.11-15
- [2] Radosavljević J, Živković Lj, Živković N, Đorđević A, Određivanje energetski efikasnih dimenzija pasivnih solarnih objekata kvadratne i pravougaone osnove, *Tehnika*, Vol. 64 (6), 2010, pp. 17- 20.
- [3] Givoni, B., Integrated - Passive Systems for Heating Building by Solar Energy. *Archit. Sci. Rev.* 24, 11. 1981. <https://doi.org/10.1080/00038628.1981.969-6464>
- [4] O’Sullivan, P, *Passive Solar Energy in Buildings*, Elsevier Applied Science Publishers, 1988., pp. 76.
- [5] Pacheco R, Ordóñez J, Martínez G, *Energy efficient design of building: A review*. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 2012.,3559–3573. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2012.03.045>
- [6] Radosavljević J, Pavlović T, Lambić, M. *Solarna energetika i održivi razvoj*, Građevinska knjiga, 2010.
- [7] Radosavljević J, Pavlović T, Đurđanović M., Sistemi za pasivan zahvat sunčevog zračenja staklenom verandom, *Tehnika* 58 (5), pp. 9 – 13, 2004.
- [8] Vukadinović A, Radosavljević J, Đorđević A, Vasočić D, Janačković G, Sunspaces as passive design elements for energy efficient and environmentally sustainable housing, *Proceedings of VIII International Conference Industrial Engineering and Environmental Protection (IIZS 2018)*, Zrenjanin, 11 - 12th October, pp. 487-493, 2018.
- [9] Albatici R, Passerini F, Pfafferott J, Energy performance of verandas in the building retrofit process. *Energies* 9, 1–12. <https://doi.org/10.3390/en9050-365>, 2016.
- [10] Babaee F, Fayaz R, Sarshar M, The optimum design of sunspaces in apartment blocks in cold climate. *Archit. Sci. Rev.* 59, 2016., 239–253. <https://doi.org/10.1080/00038628.2015.1077326>
- [11] Chiesa G, Simonetti M, Ballada G, *Potential of attached sunspaces in winter season comparing different technological choices in Central and Southern Europe*. *Energy Build.* 138, 2017., 377–395. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2016.12.067>
- [12] Liu Z, Wu D, Li J, Yu H, He B, Optimizing Building Envelope Dimensions for Passive Solar Houses in the Qinghai-Tibetan Region: Window to Wall Ratio and Depth of Sunspace. *J. Therm. Sci.*, 2018., 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11630-018-1047-7>
- [13] Ulpiani G, Giuliani D, Romagnoli A, di Perna C, *Experimental monitoring of a sunspace applied to a NZEB mock-up: Assessing and comparing the energy benefits of different configurations*. *Energy Build.* 152, 2017., 194–215.
- [14] Đurđanović M., Radosavljević J., Pavlović T., Uticaj prozora kod zgrada koje se pasivno hlade, *Tehnika* 59 (1), pp. 13-16, 2005.
- [15] US Department of. Energy. *Engineering Reference, EnergyPlus™ Version 9.1.0 Documentation*, 2019.

- [16]Vukadinović A, Radosavljević J, Đorđević A, Petrović N, Effects of the geometry of residential buildings with a sunspace on their energy performance, *FACTA UNIVERSITATIS Series: Architecture and Civil Engineering* Vol. 17, No 1, 2019, pp. 105-118. <https://doi.org/10.2298/FUACE190-227004V>
- [17]Vukadinović, A. Radosavljević, J. Đorđević, A. Energy performance impact of using phase-change materials in thermal storage walls of detached residential buildings with a sunspace, *Solar Energy*, Volume 206, 2020, Pages 228-244, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.06.008>.

## SUMMARY

### EFFECTS OF THE ORIENTATION OF RESIDENTIAL BUILDINGS WITH A SUNSPACE ON THEIR ENERGY PERFORMANCE AND THE EMISSION OF CO<sub>2</sub>

*The paper discusses the effects of the orientation of a passive individual building with a sunspace, with different window to wall ratio (WWR = 20%, WWR = 40% and WWR = 60%), on total energy required for heating and cooling of the building. The emission of CO<sub>2</sub>, as a greenhouse gas, which is generated by the combustion of fossil fuels used for electricity generation utilized for heating the building in the winter and its cooling in the summer months, has also been calculated. The paper utilizes EnergyPlus software to calculate the energy demand of various orientation of the model of a building with a sunspace. The considered model of the building has only the ground floor G and the floor area Po = 92.16 m<sup>2</sup>, with the floor aspect ratio 2.25:1. The sunspace of the considered model is set along the entire length of the facade of the building and its width is 1.2 m. The research was performed for the city of Nis (43 ° 19 ' latitude, 21 ° 54' longitude, at an altitude of 202 m). When considering the total energy required for heating and cooling and the total annual mass of emitted CO<sub>2</sub> pollutant, the research showed that the most favorable orientation of the building is to the south (azimuth of the facade with a sunspace  $\Psi = 185^\circ$  for the WWR = 20% and WWR = 40% and  $\Psi = 180^\circ$  for WWR = 60%).*

**Key words:** individual residential building, sunspace, orientation, energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions