

Efekat osenčenja od susednih zgrada na energetska učina nestambene zgrade za klimatske uslove u Srbiji

Adjacent building shading effect on the energy performance of a non-residential building for climatic conditions in Serbia

Novak NIKOLIĆ*, Milisav PRODANOVIĆ, Nebojša LUKIĆ, Aleksandar NEŠOVIĆ,
Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac

Ključne reči: grejanje; ventilacija; osenčenje; prisustvo ljudi; nestambena zgrada; simulacija

U ovom radu ispitan je uticaj prisustva okolnih objekata na energetska ponašanje jedne nestambene zgrade za klimatske uslove u Srbiji. Po prvi put je ovaj uticaj razmatran za različite rasporede prisustva ljudi, stvarno, prosečno godišnje i maksimalno prisustvo, i dve različite metode ventilacije (Metoda 1 i 3), definisane prema trenutno važećem standardu EN 16798. Nalazi ove studije ukazuju na to da predviđene ukupne potrebe za toplotnom energijom zgrade mogu biti pod značajnim uticajem usled osenčenja koje izazivaju susedni objekti. Kroz energetske simulacije zgrade ustanovljeno je da zgrada sa efektom osenčenja troši od 6,43% do 11% više energije od zgrade kod koje je prisustvo okolnih objekata zanemareno. Zanemarivanje ovog uticaja vodi ka pojavi greške u predviđanju energetske potrošnje zgrade. Posmatrajući istovremeni uticaj prisustva ljudi i okolnih objekata ova greška može dostići vrednost od čak 21,13%. Na osnovu prikazanih rezultata, kako bi se predviđeno energetska ponašanje zgrade približilo stvarnom ponašanju, preporučuje se upotreba rasporeda stvarnog prisustva ljudi. Raspored maksimalnog prisustva ljudi, u svakom slučaju, treba izbegavati. Iz istog razloga, efekat osenčenja od susednih zgrada treba uzeti u obzir u studijama energetske simulacije zgrade. Takođe, ovaj efekat treba uzeti u razmatranje prilikom planiranja i razvoja novih urbanih naselja.

Key words: heating; ventilation; shading; people occupancy; non-residential building; simulation

In this paper, the impact of the presence of surrounding buildings on the energy behavior of a non-residential building for climatic conditions in Serbia was examined. For the first time, this impact was considered for different people occupancy schedules, real, average yearly and maximum occupancy, and two different ventilation methods (Method 1 and 3), defined according to the currently valid standard EN 16798. The findings of this study indicate that the predicted total heating energy demands of a building may be significantly affected due to the shading caused by adjacent objects. Through building energy simulations, it was found that a building with a shading effect consumes from 6.43% to 11% more energy than a building where the presence of surrounding buildings is neglected. Neglecting this impact leads to an error in predicting the building's energy consumption. Observing the simultaneous impact of the people occupancy and surrounding objects, this error can reach a value of as much as 21.13%. Based on the presented results, in order to bring the predicted energy behavior of the building closer to its actual behavior, it is recommended to use the real occupancy schedule. The maximum occupancy schedule, in any case, should be avoided. For the same reason, the adjacent shading effect needs to be accounted for in building energy simulation studies. This effect should be also taken into consideration when planning and developing a new urban settlements.

1. Uvod

Ventilacija prostora se može postići na različite načine, jednostavnim ručnim otvaranjem prozora (prirodna ventilacija) i/ili složenim sistemima mehaničke ventilacije sa ili bez povrata toplote. Na ovom geografskom području, velika većina vrtića, uključujući i novoizgrađene, nemaju sisteme mehaničke ventilacije, već se koristi samo prirodna ventilacija. U takvim uslovima, kvalitet unutrašnje sredine često je neprihvatljiv. U budućnosti, zgrade namenjene obrazovanju će pored kriterijuma kvaliteta unutrašnje sredine morati da ispunjavaju i kriterijume veoma niske ili nulte potrošnje energije. Ahmed i dr. [1] procenili su kvalitet unutrašnje sredine i energetska učina četiri vrtića neto-nulte energetske potrošnje (NZEB) i tri NZEB školske zgrade iz Finske i Estonije. Rezultati su pokazali da su sve zgrade postigle nizak nivo CO₂. Nasuprot tome, izmerena potrošnja energije u 5 od 7 zgrada povećana je za faktor 2,1–3,0 u poređenju sa izračunatom

godišnjom potrošnjom energije usled stalnog rada ventilacionog sistema i prisustva toplih kuhinja. Prema [2] sistem ventilacije kontrolisan prema potražnji (DCV) može značajno smanjiti potrošnju energije u poređenju sa sistemom sa stalnom količinom vazduha (CAV). Ukupna potrošnja energije ventilatora može se smanjiti za 24% u poređenju sa CAV-om, regulacijom protoka vazduha prema koncentraciji CO₂ koja je u korelaciji sa prisustvom ljudi. Prisustvo i ponašanje ljudi igra ključnu ulogu u potrebi za energijom bilo stambenih ili nestambenih zgrada, a njihov značaj će se samo povećavati sa težnjom ka NZEB zgradama. Da bi se smanjila upotreba energije u zgradama, potrebne su precizne metode modeliranja potreba za energijom koje uzimaju u obzir i karakteristike zgrade i ponašanje njihovih korisnika [3]. Tačni podaci o prisustvu ljudi mogu podstaći korisnike da štede energiju upravljajući sistemom automatizacije zgrade na osnovu stvarnog prisustva ljudi. Analiza jedne norveške osnovne škole otkrila je da bi ušteda u korišćenju energije

* Autor za korespondenciju: novak.nikolic@kg.ac.rs

Rad je izložen na 53. Međunarodnom kongresu i izložbi o KGH i objavljen u zborniku toga skupa <https://doi.org/10.24094/kgkh.022.043>

bila oko 40% [4], ako bi se količina dovodnog vazduha kontrolisala prema stvarnom broju ljudi u prostoru. Sekki i dr. [5] su procenili potencijal uštede energije za grejanje i električne energije u proučavanim vrtićima i školama u gradu Espoo u Finskoj. Potencijal uštede energije za grejanje iznosio je 10,4 kWh/m², a potencijal uštede električne energije 4,3 kWh/m². Utvrdili su da je mehanička ventilacija bila u funkciji čak i kada u zgradi nije bilo prisustva ljudi. Zbog nedostatka podataka, ponašanje ljudi je često uključeno u softver za simulaciju energetskog učinka zgrade kroz nepromenljivi raspored prisustva ljudi. Da bi se dobile tačnije simulacije energetskih potreba, potrebni su detaljni i stvarni rasporedi prisustva ljudi. Sekki i dr. [6] su uveli novi indikator energetske efikasnosti zgrade koji uzima u obzir i efikasnost prostora i efikasnost prisustva ljudi. Njihovi nalazi ukazuju da postoji veza između izmerene potrošnje energije vrtića i prisustva ljudi, ali ne jake, zbog odstupanja vezanih za različite vrste perioda radnih sati.

Tačnost predviđanja potrošnje energije u gradskim zgradama ključna je za ubrzanje transformacije održivih gradova [7]. Međutim, potrošnja energije individualne zgrade ne zavisi samo od njenih sopstvenih karakteristika i ponašanja korisnika, već je pod uticajem i okolnih zgrada, posebno u urbanim sredinama visoke gustine [8–13]. Faure i dr. [8] su razvili novi alat za simulaciju energetskog ponašanja urbanih zgrada (UBEM) koji je korišćen za analizu uticaja senki od okolnog okruženja na ukupni učinak UBEM-a. Analiza je sprovedena za dva urbana područja u Stokholmu (Švedska). Njihovi rezultati su otkrili da se do 12% ukupne razlike u intenzitetu potreba za toplotnom energijom može pripisati promeni u okruženju uticaja senke. Farrar-Nagi i dr. [9] su proučavali kombinovani uticaj osenčenja i zastakljenja na korišćenje energije u stambenim zgradama u subtropskoj klimi (Tuson, Arizona). Rezultati su prikazali da se ukupni troškovi hlađenja i grejanja smanjuju za više od 10% zbog prisustva susednih kuća. Efekat osenčenja od susednih zgrada na toplotni učinak neklimatizovane kuće u vlažnoj subtropskoj klimi procenjen je u [10]. Sprovedena su eksperimentalna merenja i simulacije ponašanja, korišćenjem softvera EnergyPlus, nenaseljene kuće, koja se nalazi u državi Morelos, Meksiko. Glavni efekti osenčenja od susednih zgrada bili su smanjenje temperature unutrašnjeg vazduha i temperature površina omotača kuće. Pokazalo se da zanemarivanje osenčenja od susednih objekata daje razliku u prosečnim temperaturama unutrašnjeg vazduha do 2,3 °C. Tereci i dr. [11] analizirali su različite generičke urbane forme zgrada u stambenim četvrtima u Štutgartu (Nemačka), u pogledu njihovog sveukupnog energetskog učinka. Za odabrane forme izvršene su detaljne simulacije potreba za grejanjem i hlađenjem, uključujući efekte osenčenja od susednih zgrada. Oni su pokazali da kada se uzme u obzir uticaj osenčenja, potrošnja energije zgrada raste do 20% pri gustini lokacije od 60%. Uticaj osenčenja od okolnih objekata na energetske zahteve stambene zgrade u Hong Kongu istraživani su u [12]. Utvrđeno je da pojedini raspored zgrada može obezbediti smanjenje godišnje potrebe za hlađenjem do 18,3% u poređenju sa rasporedom sa zanemarenim uticajem osenčenja. Efekat osenčenja od susednog drveća i zgrada na energetske potrebe zgrade u četiri različita klimatska regiona u Kanadi istraživali su Nikoofard i dr. [13]. Studija je sprovedena korišćenjem razvojne verzije softvera za simulaciju ponašanja zgrade HOT3000 u kojoj je ESP-r usvojen kao njegov simulacioni mehanizam. Ispitivana dvospratna kuća je odabrana za studiju slučaja. Zaključeno je da se godišnja energija za grejanje i hlađenje može razlikovati i do 10%, odnosno 90%, respektivno.

U svim prethodnim istraživanjima prisustvo ljudi u zgradama zanemareno je ili izračunato na osnovu maksimalnog broja korisnika i vremena korišćenja proučavanih zgrada tokom godine. Uticaj osenčenja od susednih zgrada procenjivao se

odvojeno od uticaja prisustva ljudi. Za razliku od stambenih zgrada, prisustvo ljudi može imati snažan uticaj na potrošnju energije nestambenih zgrada. Glavni cilj ove studije je procena kombinovanog efekta prisustva ljudi i osenčenja od susednih zgrada na energetske učinke nestambene zgrade za klimatske uslove u Srbiji. Simulacije energetskog ponašanja zgrade sprovedene su razmatrajući osenčenje od susednih objekata, različite rasporede prisustva ljudi i dve metode ventilacije, kako bi se procenile potrebe za energijom za grejanje jednog vrtića. Studija po prvi put obuhvata promenljive nedeljne rasporede prisustva ljudi, za vrtić u Srbiji, izvedene iz stvarnih podataka o prisustvu dece. Ovaj rad ima za cilj da ukaže na efekat prisustva ljudi i osenčenja od okolnih objekata na tačnost simulacija energetskog učinka zgrade.

2. Metode ventilacije za nestambene zgrade (vrtiće)

Ventilacija je proces kojim se, prirodnim i/ili mehaničkim putem, spoljašnji vazduh dovodi u željeni prostor kako bi se održao odgovarajući kvalitet unutrašnje sredine. Kvalitet unutrašnje sredine izražava se preko zahtevanog nivoa ventilacije, koji se zasniva na kriterijumima zdravlja i udobnosti ljudi. U skladu sa standardom EN 16798, projektni parametri kvaliteta unutrašnjeg vazduha izvode se prema jednoj ili više od sledećih metoda: Metoda 1, Metoda 2 i Metoda 3.

Metoda 1 uzima u obzir zagađenje vazduha uzrokovano emisijom štetnih materija koje potiču od ljudi (q_p) i same zgrade (q_g). Standard daje preporučene vrednosti ukupnih ventilacionih zahteva (q_{tot}) za vrtiće, koji se razlikuju prema kategorijama kvaliteta unutrašnjeg vazduha (C1, C2, C3 i C4) i stepenu zagađenosti zgrade: veoma malo zagađena zgrada (VLP), malo zagađena zgrada (LP) i zagađena zgrada (NLP). Za decu kao korisnike ovih zgrada, preporučuje se obezbeđenje visokog nivoa kvaliteta vazduha (C1). Pored ove kategorije, sprovedene su simulacije za kategoriju najnižeg kvaliteta vazduha (C4), koja se odnosi na minimalne zahteve za ventilaciju koje propisuje SZO (tabela 1).

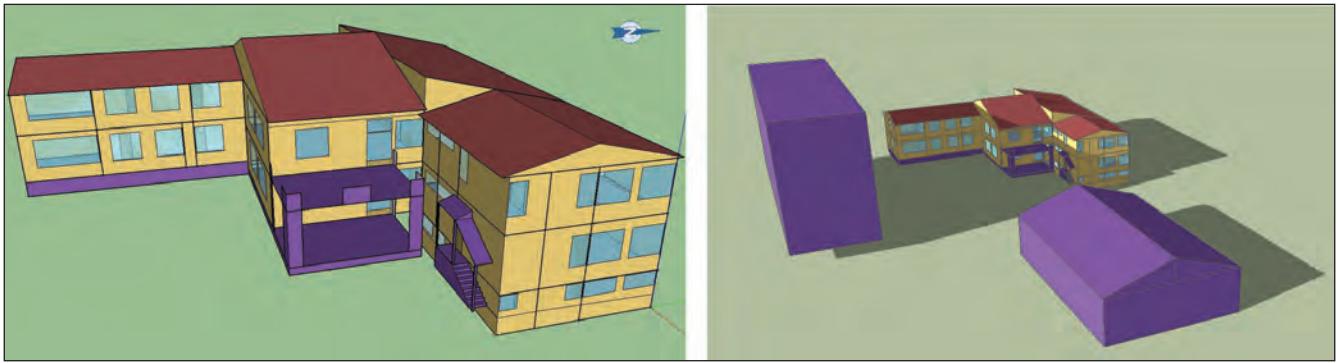
Tabela 1. Preporučene vrednosti ventilacionih zahteva vrtića za prvu (C1) i četvrtu (C4) kategoriju kvaliteta vazduha Metode 1 [14]

Vrsta zgrade	Kategorija kvaliteta vazduha	q_{tot} , L/(s po osobi)		
		Veoma malo zagađena zgrada (VLP)	Malo zagađena zgrada (LP)	Zagađena zgrada (NLP)
Vrtić	C1	11	12	14
	C4	4	4	4

Osnova za proračun ventilacionih zahteva po Metodi 2 su granične vrednosti koncentracije zagađujućih materija. Da bi se izračunao projektovani protok vazduha za ventilaciju, treba identifikovati najkritičniji ili relevantni zagađivač i proceniti stepen zagađenja u prostoriji.

Kada se koristi ova metoda, kao jedan od relevantnih zagađivača može se koristiti CO₂ emitovan od strane ljudi. Granična vrednost ove koncentracije od 950 ppm odgovara ukupnom zahtevu za ventilacijom kategorije kvaliteta vazduha C1, dok granična vrednost od 1750 ppm odgovara ventilacionom zahtevu kategorije kvaliteta vazduha C4 (tabela 1). Iz navedenog razloga i nemogućnosti utvrđivanja emisija zagađujućih materija od zgrade i KGH sistema, kod odabranog vrtića, nije razmatrana Metoda 2.

Metoda 3 se odnosi na određivanje unapred definisanog minimalnog zahteva za ventilacijom za koji se procenjuje da ispunjava kriterijume kvaliteta unutrašnjeg vazduha i zdravlja u prostoriji u kojoj borave ljudi. Unapred definisani zahtevi treba da budu izraženi preko jednog ili više od sledećih pa-



Slika 1. Izometrijski prikaz analiziranog vrtića i susjednih objekata

rametara: ukupni projektni ventilacioni zahtevi za ljude i komponente zgrade (q_{tot}); projektni ventilacioni zahtevi po jedinici površine poda zgrade (q_m); projektni ventilacioni zahtevi po osobi (q_p); projektne izmene vazduha na čas (ach) i projektni ventilacioni zahtevi prema prostoriji i vrsti zgrade (q_{room}) [14]. Izabrana je vrednost unapred definisanog minimalnog zahteva za ventilacijom od 0,5 ach jer se ona često koristi u praksi i istraživanjima ove vrste nestambenih zgrada.

3. Metodologija

3.1. Model zgrade

Jedan vrtić na teritoriji grada Kragujevca odabran je za studiju slučaja. Zgrada se sastoji iz tri nivoa, podruma, prizemlja i prvog sprata (slika 1). Kao što se može videti sa slike 1, vrtić je okružen dvema zgradama koje mogu uticati na njegovu potrošnju energije za grejanje. Viša zgrada (visine 18 m) se odnosi na stambeni objekat, dok niža (visine 9 m) predstavlja objekat osnovne škole. Njihova najkraća udaljenost od vrtića, koji ima visinu od 10 m, iznosi 9 m (stambena zgrada) i 20 m (školska zgrada). Ukupna površina grejanog poda iznosi 1269,14 m². 3D modeli vrtića i susjednih zgrada kreirani pomoću softvera SketchUp [15] su upotrebljeni kao geometrijski ulaz za softver EnergyPlus [16]. Softver EnergyPlus je potvrđen i verifikovan [17], i pruža mogućnost simulacije energetskog ponašanja veoma složenih zgrada u veoma teškim uslovima.

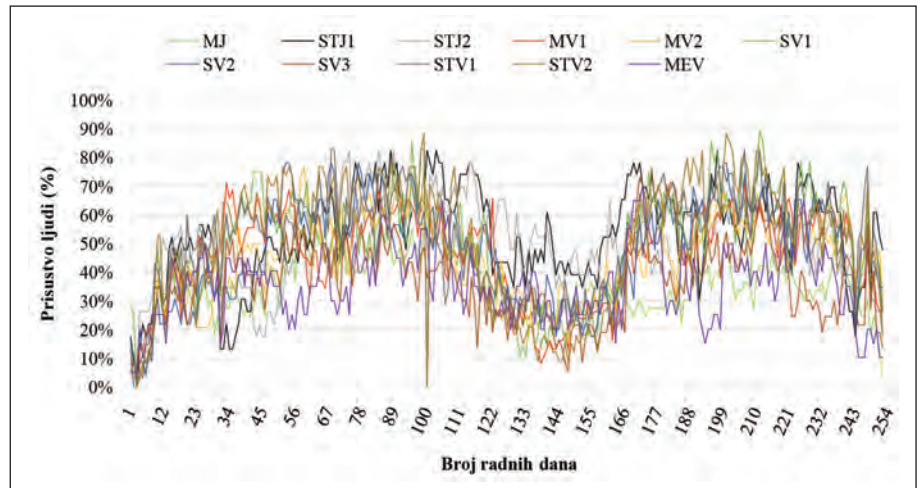
Trodimenzionalni model vrtića izrađen je pod pretpostavkom da su vrednosti koeficijenta prolaza toplote svih elemenata njegovog termičkog omotača manje ili jednake maksimalno dozvoljenim vrednostima, utvrđenim Pravilnikom o energetskej efikasnosti zgrada [18]. U tabeli 2 date su termičke karakteristike konstrukcija zgrade vrtića.

Tabela 2. Termičke karakteristike konstrukcija zgrade [19]

	Konstrukcija zgrade						
	Krov	Spoljni zid	Pod na tlu	Pod iznad negrejanog prostora	Pod ispod negrejanog prostora	Spoljni prozor	Spoljna vrata
U [W/m ² K]	0,288	0,293	0,267	0,281	0,294	1,5	1,6

3.2. Korišćenje zgrade

Kada se simulira energetsko ponašanje zgrade, potrebno je razumeti i znati kako ljudi koriste zgradu. Ovo je jedan od



Slika 2. Stvarno procentualno prisustvo ljudi tokom 2016/2017. godine u analiziranom vrtiću [19]

uslova koji mora biti ispunjen da bi se predviđena potrošnja energije zgrade približila stvarnoj. U mnogim studijama, uticaj osenčenja od susjednih zgrada i uticaj prisustva ljudi su zanemareni. S tim u vezi, ovaj rad obuhvata analizu potrošnje energije vrtića pri različitim metodama ventilacije i različito definisanom prisustvu ljudi: realno (stvarno), prosečno godišnje i maksimalno prisustvo ljudi. Na slici 2 prikazano je stvarno procentualno prisustvo dece po vaspitnim grupama u odabranom vrtiću tokom 2016/2017. godine. Deca su prema uzrastu podeljena u različite vaspitne grupe: mlađu jasleno grupu (MJ), stariju jasleno grupu (STJ), mlađu vaspitnu grupu (MV), srednju vaspitnu grupu (SV), stariju vaspitnu grupu (STV) i mešovitu vaspitnu grupu (MEV). U 2016/2017. godini bile su dve STJ, MV i STV grupe, tri SV grupe i jedna MJ i MEV grupa. Svaka od ovih grupa dece bila je u posebnoj prostoriji.

Rasporedi prosečnog godišnjeg prisustva ljudi za svaku od vaspitnih grupa (tabela 3) određeni su na osnovu stvarnog prisustva dece odgovarajuće vaspitne grupe u šest vrtića, na teritoriji grada Kragujevca, za period od tri godine, od 2015/2016. do 2017/2018. godine.

Tabela 3. Prosečno godišnje i maksimalno prisustvo ljudi za svaku od analiziranih vaspitnih grupa [19]

	Vaspitna grupa					
	MJ	STJ	MV	SV	STV	MEV
Prosečno godišnje prisustvo ljudi [%]	43,50	53,72	56,37	53,78	55,64	53,03
Maksimalno prisustvo ljudi [%]	100	100	100	100	100	100

Maksimalno prisustvo ljudi, dato u tabeli 3, zasniva se na najvećem mogućem (maksimalnom) prisustvu dece određeno

ne vaspitne grupe. Prisustvo dece u ovim rasporedima je, kao i kod rasporeda prosečnog godišnjeg prisustva, nepromenljivo tokom cele godine.

Što se tiče sistema grejanja, vrtić je priključen na sistem daljinskog grejanja. Radijatori su postavljeni u svim grejanim prostorijama. Pretpostavljeno je da sistem grejanja tokom cele grejne sezone (15. oktobar – 15. april) održava temperaturu unutrašnjeg vazduha na 16 °C, u periodu kada je vrtić zatvoren (16–6 h) i na 20 °C kada je vrtić otvoren za korisnike (6–16 h). U ovoj nestambenoj zgradi ventilacija se ostvaruje prirodnim putem, otvaranjem prozora. Iako ne postoje sistemi mehaničke ventilacije, pretpostavljeno je da su ovi sistemi, ali bez rekuperacije toplote, ugrađeni u cilju uspostavljanja i održavanja odgovarajućeg kvaliteta unutrašnje sredine. Provetravaju se samo prostorije u kojima borave deca. Treba napomenuti da je usvojena vrednost infiltracije vazduha za sve prostorije 0,2 ach. Utvrđeno je da ova vrednost ispunjava uslov standarda koji se odnosi na zahtev za ventilaciju prostora vrtića u periodima kada nema ljudi. Za razliku od sistema grejanja, usvojeno je da sistem ventilacije radi samo za vreme maksimalnog prisustva dece u vrtiću tokom dana, od 8–14 h. Osim što utiču na rad ventilacionog sistema, raspoređi prisustva utiču i na iznos toplotnih dobitaka od ljudi. Da bi se ova potrošnja približila stvarnoj, usvojeno je da toplotni dobitci od ljudi iznose 38,3 W/osobi, za decu do 4 godine starosti i 62,1 W/osobi za decu uzrasta od 4 do 6 godina [20].

3.3. Simulacioni slučajevi

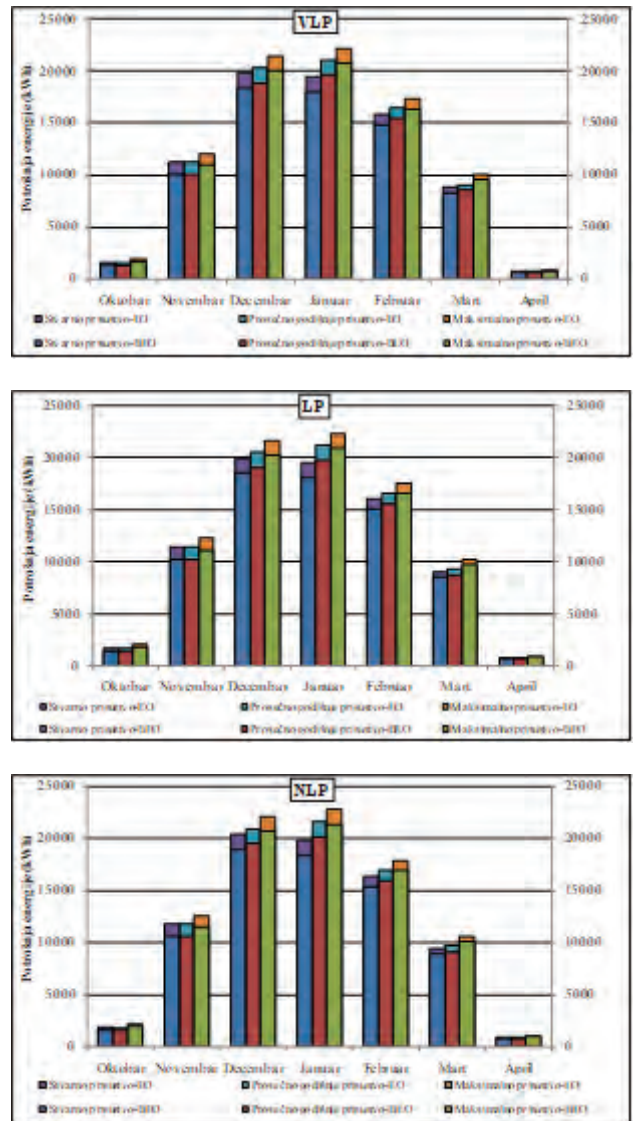
Prvo je modeliran i simuliran vrtić bez prisustva susednih zgrada. Njegov energetski učinak je simuliran za dve metode ventilacije (Metoda 1 i Metoda 3) i svaku vrstu prisustva ljudi. Pri Metodi 1 odabrana su dva ventilaciona zahteva, C1 i C4, koje karakteriše najviši i najniži nivo kvaliteta vazduha, respektivno. Obe ove kategorije obuhvataju simulacije za sva tri stepena zagađenosti zgrade (tabela 4). Prema Metodi 1, rad ventilacionog sistema uslovljen je rasporedom prisustva ljudi. Drugim rečima, za stvarno prisustvo, količina vazduha koja se ubacuje u prostorije odgovara trenutnom (dnevnom) prisustvu dece. Protok za druge dve vrste rasporeda odgovara prosečnom godišnjem i maksimalnom prisustvu, ali se njegova vrednost ne menja tokom grejne sezone. S druge strane, zahtevi za ventilacijom Metode 3 ne zavise od prisustva ljudi. Njihove vrednosti, izračunate na osnovu zapremine prostorije koja se ventilira (0,5 ach), takođe su konstantne tokom sezone grejanja.

Da bi se procenio efekat osenčenja od susednih zgrada, modeli susednih zgrada su povezani sa modelom vrtića. Procenjivan je energetski učinak vrtića sa i bez efekta osenčenja, za svaku odabranu metodu ventilacije i vrstu prisustva ljudi (tabela 4). Za simulaciju vremenskih prilika grada Kragujevca (geografska širina 44,02°N, geografska dužina 20,92°E) korišćena je EnergyPlus vremenska datoteka. Ova datoteka sadrži vremenske podatke koji predstavljaju tipične vremenske prilike tokom godine u gradu Kragujevcu [21]. Formirana

je spajanjem dvanaest tipičnih meteoroloških meseci odabranih iz baze podataka za 30 godina.

4. Rezultati i diskusija

Vrednosti predviđene potrošnje energije za grejanje proučavanog vrtića prikazane su na slikama 3 i 4.

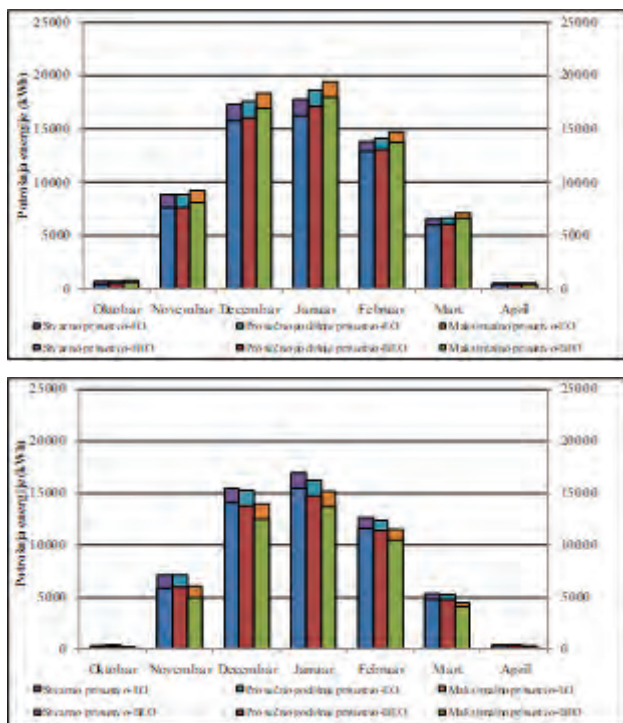


Slika 3. Predviđena potrošnja energije za grejanje analiziranog vrtića sa i bez efekta osenčenja, za ventilacionu Metodu 1, kvalitet vazduha C1 i različite rasporede prisustva ljudi

Prisustvo ljudi i okolnih objekata imaju značajan uticaj na potrošnju energije za grejanje vrtića. Uticaj prisustva ljudi treba posmatrati iz dva ugla, u zavisnosti od primenjene metode ventilacije. Broj ljudi u prostoriji određuje ukupne toplotne dobitke od ljudi kao i ukupnu količinu svežeg vazduha koji se ventilacionim sistemom ubacuje u istu prostoriju. Prema Metodi 1, povećanje prisustva ljudi dovodi do povećanja protoka dovedenog vazduha i energije za grejanje vrtića, i obrnuto, slika 3 i slika 4 (levo). Najmanja potrošnja energije je za kategoriju kvaliteta vazduha C4, kada je protok vazduha najmanji i jednak 4 L/(s po osobi). S druge strane, najveća potrošnja energije zgrade odnosi se na kategoriju kvaliteta vazduha C1 i stepen

Tabela 4. Simulacioni slučajevi proučavanog vrtića

Metode ventilacije	Kategorija kvaliteta vazduha	Ventilacioni zahtevi [L/(s po osobi)]	Prisustvo ljudi	Efekat osenčenja
Metoda 1 (VLP) – M1, VLP	C1	11	Stvarno prisustvo (S)	Sa efektom osenčenja (EO)
	C4	4		
Metoda 1 (LP) – M1, LP	C1	12	Prosečno godišnje prisustvo (G)	Bez efekta osenčenja (BEO)
	C4	4		
Metoda 1 (NLP) – M1, NLP	C1	14	Maksimalno prisustvo (M)	
	C4	4		
Metoda 3 – M3	/	0,5 (ach)		



Slika 4. Predviđena potrošnja energije za grejanje analiziranog vrtića sa i bez efekta osenčenja, za ventilacionu Metodu 1, kvalitet vazduha C4 (gore) i ventilacionu Metodu 3 (dole), i različite rasporede prisustva ljudi

zagađenosti zgrade NLP, sa protokom vazduha od 14 L/(s po osobi). Protok vazduha kod Metode 3 uslovljen je zapreminom prostorije koja se provetrava, a ne brojem ljudi. U ovom slučaju, povećanje prisustva ljudi dovodi do smanjenja potreba za grejanjem vrtića, slika 4 (desno), zbog većih unutrašnjih toplotnih dobitaka. Sa maksimalnim prisustvom ljudi, potrebe za grejanjem će biti najmanje. Opisane pojave su uočene kod oba modela vrtića, bilo sa ili bez prisustva okolnih objekata. Ukupne predviđene potrebe za grejanjem vrtića sa i bez efekta osenčenja, za različite metode ventilacije i vrste rasporeda prisustva dece, kao i njihova međusobna mesečna i sezonska odstupanja prikazani su u tabeli 5.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je potrošnja energije za grejanje vrtića, uz zanemarivanje prisustva okolnih objekata, kako na mesečnom tako i na sezonskom nivou, manja od potrošnje energije vrtića čije ponašanje je simulirano sa prisustvom okolnih objekata, za sve metode ventilacije i vrste rasporeda prisustva ljudi. Vrtić koji ima otvoreni položaj, koji nije okružen drugim objektima, ima veće toplotne dobitke od solarnog zračenja preko, pre svega, zastakljenih površina njegovog toplotnog omotača (prozora).

Najveći uticaj osenčenja vrtića, posmatrano na mesečnom nivou, zabeležen je u oktobru mesecu, bez obzira na metodu ventilacije, kategoriju kvaliteta vazduha i stepen zagađenosti zgrade. Ovo se može objasniti malim učešćem difuznog solarnog zračenja (manje oblačnosti) u ukupnom solarnom zračenju, u poređenju sa drugim mesecima. Iako je osenčenje vrtića bilo najveće u najhladnijim mesecima, decembru, januaru i februaru, zbog najniže visine Sunca tokom godi-

Tabela 5. Mesečna i sezonska procentualna odstupanja predviđene potrošnje energije za grejanje vrtića sa i bez prisustva okolnih objekata, za različite metode ventilacije i vrste rasporeda prisustva ljudi

Metoda ventilacije	Prisustvo ljudi	Efekat osenčenja	Potrošnja energije [kWh]		Mesečna procentualna razlika utrošene toplotne energije [%]						Sezonska procentualna razlika [%]			
					O	N	D	J	F	M		A		
M1, VLP, C1	S	BEO	71497	BEO vs EO	-15,87	-10,58	-7,35	-7,76	-6,31	-6,28	-8,28	-7,76		
		EO	77516											
	G	BEO	74446		-16,09	-10,61	-6,98	-6,96	-6,01	-6,06	-8,01		-7,37	
		EO	80373											
	M	BEO	80128		-12,32	-9,30	-6,55	-6,55	-5,56	-5,17	-6,82			-6,71
		EO	85889											
M1, LP, C1	S	BEO	72522	BEO vs EO	-15,23	-10,35	-7,24	-7,67	-6,21	-6,08	-8,02	-7,64		
		EO	78518											
	G	BEO	75543		-15,30	-10,38	-6,90	-6,89	-5,95	-5,92	-7,87		-7,26	
		EO	81455											
	M	BEO	81245		-12,04	-9,09	-6,48	-6,48	-5,48	-5,05	-6,57			-6,61
		EO	86994											
M1, NLP, C1	S	BEO	74627	BEO vs EO	-13,85	-9,85	-7,06	-7,50	-6,05	-5,78	-7,53	-7,38		
		EO	80576											
	G	BEO	77788		-13,90	-9,85	-6,75	-6,75	-5,79	-5,62	-7,39		-7,02	
		EO	83664											
	M	BEO	83517		-11,22	-8,71	-6,35	-6,36	-5,35	-4,92	-5,94			-6,43
		EO	89258											
M1, C4	S	BEO	59312	BEO vs EO	-31,97	-14,05	-8,64	-8,70	-7,35	-8,47	-12,95	-9,37		
		EO	65447											
	G	BEO	60854		-32,23	-14,09	-8,47	-8,25	-7,18	-8,35	-12,92		-9,14	
		EO	66979											
	M	BEO	64285		-25,67	-13,12	-7,89	-7,66	-6,75	-7,64	-11,31			-8,49
		EO	70247											
M3	S	BEO	52095	BEO vs EO	-48,26	-17,36	-9,60	-9,04	-7,97	-9,84	-17,97	-10,28		
		EO	58066											
	G	BEO	50844		-47,71	-17,24	-9,72	-9,39	-8,12	-9,90	-17,49		-10,48	
		EO	56795											
	M	BEO	45797		-53,01	-18,96	-10,33	-9,87	-8,57	-10,51	-18,31			-11,00
		EO	51459											

ne, njegov uticaj na potrošnju energije je nešto manji usled visokog intenziteta difuznog solarnog zračenja. U proseku, najmanji uticaj je u mesecu februaru. Posmatrajući rezultate potrošnje za mesec novembar i mart, u novembru je efekat osenčenja veći, kako zbog veće osenčenosti objekta, tako i zbog dužeg zadržavanja senke.

Prema vrednostima ukupne potrošnje energije tokom grejne sezone, predviđena potrošnja energije vrtića bez prisustva susednih zgrada je niža od 6,43–11%, u odnosu na potrošnju iste zgrade, ali sa efektom osenčenja. Uključujući sve metode ventilacije i vrste rasporeda prisustva ljudi, vrednost ove potrošnje je u proseku 8,2% manja od potrošnje vrtića sa efektom osenčenja. Izračunate procentualne vrednosti predstavljaju grešku u predviđanju potrošnje energije za grejanje proučavane zgrade. Upoređujući rezultate prema protoku svežeg vazduha, može se zaključiti da se greška u predviđanju potrošnje energije smanjuje sa povećanjem protoka svežeg vazduha. Sa njegovim povećanjem, potrebe za grejanjem su veće, dok je efekat solarnih dobitaka manji. Drugim rečima, pri Metodi 3 prosečna sezonska greška ima vrednost od 10,59%, a pri Metodi 1, kategorije kvaliteta vazduha C1 i stepena zagađenosti zgrade NLP iznosi 6,94%. Iz istog razloga, za Metodu 1, a u pogledu na različite upotrebljene rasporede prisustva ljudi, najmanja greška se javlja za maksimalno prisustvo ljudi za koje je protok svežeg vazduha po osobi najveći.

Međutim, za Metodu 3 i ovaj raspored prisustva ljudi, dobijena je najveća greška. Razlog za to leži u činjenici da ventilacija prostorije prema ovoj metodi ne zavisi od broja prisutnih ljudi, već od zapremine prostorije. Protok svežeg vazduha u prostorijama je isti za sve rasporede prisustva ljudi. Obzirom da maksimalno prisustvo zahteva manje potrebe za grejanjem, zbog većih toplotnih dobitaka od ljudi, efekat solarnih dobitaka je takođe veći.

Efekat upotrebe različitih rasporeda prisustva ljudi, stvarnog, prosečno godišnjeg i maksimalnog, na predviđanje energetske ponašanja istog modela zgrade ali sa modelima susednih zgrada, procenjen je u [19]. Pokazalo se da korišćenje maksimalnog prisustva ljudi daje značajnu grešku u predviđanju potrošnje energije za grejanje, od 7,33–11,38%. Tačnije, potrošnja energije za Metodu 1 veća je za 7,33–10,8%, dok je za Metodu 3 manja za 11,38% od potrošnje zgrade sa stvarnim prisustvom ljudi.

Pomenute vrednosti se dobijaju i upoređivanjem rezultata ukupne potrošnje energije za grejanje vrtića, prikazanih u tabeli 5. Podaci iz ove tabele se takođe mogu upotrebiti za ispitivanje kombinovanog uticaja prisustva ljudi i prisustva susednih zgrada na potrošnju energije za grejanje odabrane zgrade. U tu svrhu upoređiće se potrošnja zgrade pri stvarnom prisustvu ljudi i sa modelima susednih zgrada sa potrošnjom pri maksimalnom prisustvu ljudi i bez modela susednih zgrada. Usled različitog uticaja prisustva ljudi, rezultati poređenja sa Metodom 1 moraju se posmatrati odvojeno od rezultata dobijenih za Metodu 3. Naime, kod Metode 1 efekat prisustva ljudi suprotan je efektu osenčenja. Veći broj ljudi dovodi do većih potreba za grejanjem, dok zanemarivanje prisustva okolnih objekata dovodi do njihovog smanjenja.

S tim u vezi, ukoliko bi se oba ova uticaja zanemarila tokom simulacija, potrebe za grejanjem bi se razlikovale od –1,78% do 3,65% od potreba zgrade pri stvarnom prisustvu ljudi i modelima okolnih zgrada. Iako se čini da je ova razlika zanemarljiva, na ovaj način se stvara pogrešan utisak da su dobijeni rezultati simulacije tačni. S druge strane, kod Metode 3, oba ova efekta deluju u istom pravcu. Prema tome, ukoliko se ovi efekti ne bi uzeli u obzir, predviđena potrošnja energije bila bi čak 21,13% manja od predviđene potrošnje, koja bi približno odgovarala stvarnom energetske ponašanju zgrade.

5. Zaključak

U ovom radu ispitan je uticaj prisustva okolnih objekata na energetske ponašanje jedne nestambene zgrade za klimatske uslove u Srbiji. Po prvi put je ovaj uticaj razmatran za različite rasporede prisustva ljudi, stvarno, prosečno godišnje i maksimalno prisustvo, i dve različite metode ventilacije (Metoda 1 i 3), definisane prema trenutno važećem standardu EN 16798. Nalazi ove studije ukazuju na to da predviđene ukupne potrebe za toplotnom energijom zgrade mogu biti pod značajnim uticajem usled osenčenja koje izazivaju susedni objekti. Kroz energetske simulacije zgrade ustanovljeno je da zgrada sa efektom osenčenja troši od 6,43–11% više energije od zgrade kod koje je prisustvo okolnih objekata zanemareno. Zanemarivanje ovog uticaja vodi ka pojavi greške u predviđanju energetske potrošnje zgrade. Posmatrajući istovremeni uticaj prisustva ljudi i okolnih objekata ova greška može dostići vrednost od čak 21,13%. Na osnovu prikazanih rezultata, kako bi se predviđeno energetske ponašanje zgrade približilo stvarnom ponašanju, preporučuje se upotreba rasporeda stvarnog prisustva ljudi. Raspored maksimalnog prisustva ljudi, u svakom slučaju, treba izbegavati. Iz istog razloga, efekat osenčenja od susednih zgrada treba uzeti u obzir u studijama energetske simulacije zgrade. Takođe, ovaj efekat treba uzeti u razmatranje prilikom planiranja i razvoja novih urbanih naselja.

6. Literatura

- [1] Ahmed, K., Kuusk, K., Heininen, H., Arumägi, E., Kallamees, T., Hasu, T., Lolli, N., Kurnitski, J., Indoor climate and energy performance in nearly zero energy day care centers and school buildings, E3S Web of Conferences, CLIMA 2019 Congress, Vol. 111, 02003, Bucharest, Romania, 2019.
- [2] Merema, B., Breesch, H., Sourbron, M., Impact of demand controlled ventilation on indoor air quality, ventilation effectiveness and energy efficiency in a school building, Proceedings of the 14th International conference of indoor air quality and climate, Indoor Air 2016, Vol. 2016, pp. 3–8, Ghent, Belgium, 2016.
- [3] Aerts, D., Minnen, J., Glorieux, I., Wouters, I., Descamps, F., A method for the identification and modelling of realistic domestic occupancy sequences for building energy demand simulations and peer comparison, *Building and Environment*, 75 (2014), pp. 67–78.
- [4] Mysen, M., Berntsen, S., Nafstad, P., Schild, P.G., Occupancy density and benefits of demand-controlled ventilation in Norwegian primary schools, *Energy and Buildings*, 37 (2005), pp. 1234–1240.
- [5] Sekki, T., Airaksinen, M., Saari, A., Effect of energy measures on the values of energy efficiency indicators in Finnish daycare and school buildings, *Energy and Buildings*, 139 (2017), pp. 124–132.
- [6] Sekki, T., Airaksinen, M., Saari, A., Impact of building usage and occupancy on energy consumption in Finnish daycare and school buildings, *Energy and Buildings*, 105 (2015), pp. 247–257.
- [7] Hu, Y., Cheng, X., Wang, S., Times series forecasting for urban building energy consumption based on graph convolutional network, *Applied Energy*, 307 (2022), <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118231>.
- [8] Faure, X., Johansson, T., Pasichnyi, O., The impact of detail, shadowing and thermal zoning levels on urban building energy modelling (UBEM) on a district scale, *Energies*, 15 (2022), <https://doi.org/10.3390/en15041525>.

- [9] **Farrar-Nagy, S., Anderson, R., Hancock, C.E.**, Impacts of shading and glazing combinations on residential energy use in a hot dry climate, Proceedings of ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Pacific Grove, California, 2000, pp. 163–176, <https://www.osti.gov/servlets/purl/763375>.
- [10] **Simá, E., Chagolla-Aranda, M.A., Huelsz, G., Tovar, R., Alvarez, G.**, Tree and neighboring buildings shading effects on the thermal performance of a house in a warm sub-humid climate, *Building Simulation*, 8 (2015), pp. 711–723.
- [11] **Tereci, A., Tahira Elias Ozkan, S., Eicker, U.**, Energy benchmarking for residential buildings, *Energy and Buildings*, 60 (2013), pp. 92–99.
- [12] **Chan, A.L.S.**, Effect of adjacent shading on the thermal performance of residential buildings in a subtropical region, *Applied Energy*, 92 (2012), pp. 516–522.
- [13] **Nikoofard, S., Ismet Ugursal, V., Beausoleil-Morrison, I.**, Effect of external shading on household energy requirement for heating and cooling in Canada, *Energy and Buildings*, 43 (2011), pp. 1627–1635.
- [14] *** EN 16798-2:2019, Energy Performance of Buildings – Ventilation for Buildings – Part 2: Interpretation of the Requirements in EN 16798-1. Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics – Module M1–6. Brussels, 2019.
- [15] *** SketchUp, (2020). <https://www.sketchup.com/>.
- [16] **Crawley, D.B., Lawrie, L.K., Winkelmann, F.C., Buhl, W.F., Huang, Y.J., Pedersen, C.O., Strand, R.K., Liesen, R.J., Fisher, D.E., Witte, M.J., Glazer, J.**, EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program, *Energy and Buildings*, 33 (2001), pp. 319–331.
- [17] **Witte, M.J., Henninger, R.H., Clazer, J., Crawley, D.B.**, Testing and validation of a new building energy simulation program, Proceedings of 7th IBPSA International Conference, Rio de Janeiro, Brazil, 2001, pp. 353–360, ISBN 85-901939-3-4.
- [18] *** Pravilnik o energetskejoj efikasnosti zgrada, Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture, Republika Srbija, Službeni glasnik 61/2011.
- [19] **Nikolić, N., Prodanović, M., Jovanović, D., Lukić, N.**, Different ventilation methods and their impact on energy consumption for heating a kindergarten, Proceedings of 52nd International HVAC&R Congress and Exhibition, Belgrade, Serbia, 2021, pp. 87-96, ISBN 978-86-85535-11-6.
- [20] **Ahmed, K., Akhondzada, A., Kurnitski, J., Olesen, B.**, Occupancy schedules for energy simulation in new prEN16798-1 and ISO/FDIS 17772-1 standards, *Sustainable Cities and Society*, 35 (2017), pp. 134–144.
- [21] *** Climate data, Climate.OneBuilding.Org, <https://climate.onebuilding.org/>, Accessed 15th of March 2021.

kgh