

POGODNOSTI OPTIMIZACIJE NISKIH STAMBENIH OBJEKATA

NENAD KOSTIĆ, MILORAD BOJIĆ, MILOŠ MATEJIĆ, NENAD PETROVIĆ, VESNA MARJANOVIĆ, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Sestre Janjić 36, 34000 Kragujevac

Ovo istraživanje orijentisano je na optimizaciju niskih zgrada za stanovanje. Razmatrana su četiri koncepta kuća i to onih sa krovom na dve i četiri vode i onih sa osnovom kvadratnog i "L" oblika. Urađeni su višekriterijumska optimizacija i pareto dijagrami u softveru Design Builder. Postignuta rešenja zadovoljavaju kriterijum smanjenja emisije CO₂ i minimizacije termičke neugodnosti. Dobijene kombinacije alternativnih rešenja i vrednosti emisije CO₂ i termičke neugodnosti upoređene su sa vrednostima pre optimizacije. Rezultati pokazuju da se primenom optimizacije postižu značajne koristi. Zaključak je da bolje rezultate daje kuća sa krovom na četiri vode i sa "L" osnovom. U odnosu na početne vrednosti, smanjenje emisije CO₂ iznosi 27% za kuće sa kvadratnom osnovom po izvršenoj optimizaciji, dok je za kuće sa "L" osnovom smanjenje oko 29%.

KLJUČNE REČI: Design Builder; energetska efikasnost; termička ugodnost; emisija CO₂; optimizacija

BENEFITS OF OPTIMIZING LOW-RISE BUILDINGS

This research dealt with optimization of environmental performance of low-rise houses. Four different houses were optimized such as a gable-roof house, a hip-roof house, a square-base house, and an L-base house. A multi-objective optimization and Pareto solutions were found in Design Builder software by minimizing both CO₂ emissions and thermal discomfort. Suggested alternative solution combinations were given, and compared to the values prior to the optimization.

The results indicated valuable benefits of optimization. It can be concluded that the pitched roof house and the L-base house gave better results than that of other houses. Compared to starting values, the CO₂ emissions were decreased by 27% for the square based house upon optimization, while the L-base house had a decrease of 29%.

KEY WORDS: Design Builder; energy efficiency; thermal comfort; CO₂ emission; optimization

1. Uvod

Savremena istraživanja iz oblasti eksploatacije stambenih građevinskih objekata usmerena su prevashodno na udobnost i kvalitet stanovanja, energetska efikasnost i zaštitu životne sredine. Ovo istraživanje razmatra način na koji je moguće izgraditi stambeni objekat optimalnih uslova u pogledu maksimizacije termičkog komfora i minimizacije štetnog uticaja na životnu sredinu. Istraživači širom sveta su po različitim kriterijumima vršili istraživanja o energetske efikasnosti i povećanju komfora. Optimizacija se koristi kao jedan od alternativnih načina za rešavanje problema energetske efikasnosti kuća, minimizaciju štetnih efekata na okolinu i maksimizaciju termalnog komfora. U radu [1] je korišćena višekriterijumska optimizacija, algoritam harmonijske pretrage, da bi se smanjio štetan uticaj kuća na životnu sredinu. U radu [2] autori su koristili PSO algoritam

i Pareto optimizaciju za analizu troškova i emisije CO₂ u projektu izgradnje stambenog objekta. Autori u radu [3] su vršili optimizaciju izolacije kuće pomoću Huk-Dživsovog algoritma u softveru *Energy Plus*. U radu [4] izvršena je optimizacija troškova za postizanje energetske efikasnosti kod drvenih kuća.

Mnogi istraživači koriste višekriterijumsku optimizaciju za povećanje energetske efikasnosti stambenih objekata [5, 6 i 7]. Višekriterijumska optimizacija se takođe koristi za određivanje strategija za retroaktivno povećanje energetske efikasnosti stambenih objekata [8]. U radu [9] je ispitana izvodljivost višekriterijumske optimizacije u tehnikama povećanja energetske efikasnosti. Autori su u radu [10] koristili višekriterijumsku optimizaciju sa simulacijama *TRNSYS*, genetskim algoritimima i neuronskim mrežama da bi poboljšali energetska efikasnost i termički komfor

u stambenim objektima. U radovima [11 i 12] je korišćenjem višekriterijumske optimizacije metodom genetskih algoritama maksimizovan termički komfor i određen optimalni režim eksploatacije stambenog objekta. U radu [13] su pokazana različita rešenja gradnje za zadate uslove koja su dobijena optimizacijom u cilju smanjenja štetnih uticaja na okolinu i sniženje troškova izgradnje. Sva rešenja su dobijena u softveru *Design Builder*, čijom primenom svaki parametar gradnje može da se postavi kao promenljiva u višekriterijumskoj optimizaciji.

Motivacija za ovo istraživanje potiče iz realne potrebe za definisanjem određenih parametara koji utiču na kvalitet pri eksploataciji niskih stambenih građevinskih objekata sa aspekta energetske efikasnosti, ugodnosti stanovanja i uticaja na životnu sredinu. Da bi se postigao ovakav rezultat, potrebno je da se pribegne savremenim metodama i softverima za pronalaženje optimalnog rešenja.

U ovom radu je izvršena višekriterijumska optimizacija u softveru *Design Builder*. Kao funkcija cilja postavljen je Pareto optimum minimizacije emisije CO₂ i broj nekomfortnih sati godišnje. Optimizacija je izvedena za četiri vrste kuća sa približno jednakom površinom osnove. Ispitane su kuće sa pravougaonom osnovom sa krovovima na dve i na četiri vode, kao kuće sa kvadratnom i sa "L" osnovom. Za pronalaženje optimalnog rešenja korišćene su sledeće promenljive: orijentacija kuće u odnosu na sever, vrsta sistema za grejanje, površina prozora, koeficijent zasenčivanja kao i veličina nadstrešnice.

2. Formulacija problema

2.1. Osnovne pretpostavke

Na početku ovog istraživanja postavljeno je pitanje da li su kuće sa istom površinom, a različitim oblikom osnove, jednake po energetskej efikasnosti. Drugo pitanje je bilo da li kuće sa približno jednakim osnovama i drugačijim izvođenjem krovova imaju jednaku energetskej efikasnost. Istraživanje je bazirano na realnim projektima kuća, tako da može imati i velike koristi u praksi. Zbog toga su analizirane četiri kuće sličnih površina osnova. Kuće su konstruisane, simulirane i optimizovane korišćenjem softvera *Design Builder*. Prve dve kuće imaju različite vrste krovova, na dve i četiri vode (sa kvadratnom osnovom). Druge dve kuće su imale drugačiji oblik osnove – kvadratni i u obliku slova „L“ (sa krovom na četiri vode).

Dobijene su vrednosti za energetskej efikasnost i uticaj na životnu sredinu (emisije CO₂), termičke ugodnosti (kvaliteta) življenja i cena konstrukcije. Optimizacija parametara koji utiču na eksploataciju kuća su sledeći: orijentacija kuće, način grejanja, koeficijent zasenčenja, površina prozora (površina spoljašnjih zidova u prozorima), vrsta prozora i dužina nadstrešnice.

Orijentacija objekta direktno utiče na karakteristike stambenog objekta. Zbog dnevnog kretanja sunca tokom dana u zavisnosti od dužine nadstrešnice, površine prozora i vrste krovne konstrukcije, postoji položaj kuće sa najpovoljnijim karakteristikama.

Dužina nadstrešnica predstavlja parametar koji zavisi od položaja kuće u odnosu na poziciju sunca tokom godine. Pošto je upadni ugao sunčevih zraka zimi manji, oni prodiru kroz prozore i pospešuju dogrevanje objekta, dok u letnjem periodu nadstrešnica sprečava njihovo direktno prodiranje kroz prozore, čime se povećeva termička ugodnost.

Vrsta primenjene krovne konstrukcije ima za cilj određivanje pogodnog sistema – na dve ili četiri vode, a da performanse kuće budu najpovoljnije.

Grejni sistemi koji su korišćeni kao parametri optimizacije su: radijatorsko grejanje sa prirodnim provetranjem, radijatorsko grejanje sa mehaničkim provetranjem, grejanje termoakumulacionim pećima, grejanje grejalicama i grejanje sistemima GSHP.

Koeficijent zasenčivanja prozora se odnosi prvenstveno na vrste prozorskih zastora, kao i na vrste stakala. Ovaj parametar se smatra veoma važnim zbog toga što od njega u dobrom delu zavisi koliko će kuća da odaje toplote u grejnoj sezoni. Površina prozora predstavlja parametar zavisan od orijentacije kuće i dužine nadstrešnica, kao i vrste krovne konstrukcije. Ova vrednost definiše potrebnu veličinu prozora da bi povoljni efekti bili maksimizovani.

Od vrsta prozora za ovaj proces optimizacije korišćeni su: aluminijumski prozori sa termoprekidom, aluminijumski prozori bez termoprekida, PVC prozori i drveni lakirani prozori.

Moguće je uočiti da su svi parametri međusobno zavisni i da najpovoljnije kreiranje objekta podrazumeva optimalno rešenje variranjem svih parametara istovremeno.

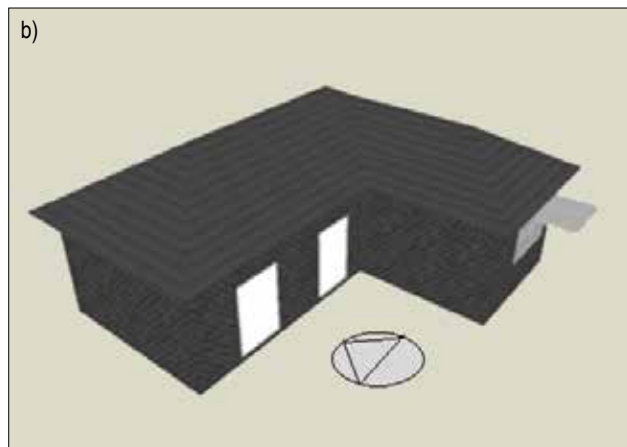
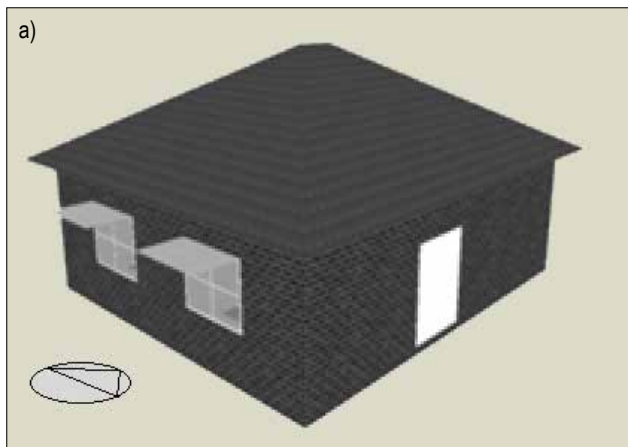
Osnovna pretpostavka je da će se povoljnim određivanjem ovih vrednosti za konkretne modele postići uštede u potrošnji energije, kao i komforniji uslovi za eksploataciju objekta kako bi on bio bolji po životnu sredinu. Spisak parametara je moguće proširiti, ali su samo ovde nabrojani parametri uzeti u obzir.

Dve kuće sa različitim krovovima su prikazane na slici 1. Analizirane kuće sa krovom na dve i četiri vode imaju isti raspored, kao i sve materijale i sisteme (instalacije). Jedina razlika je u vrsti krova. Ukupna površina kuća je 60 m². Grejanje se vrši radijatorima u kombinaciji sa prirodnim provetranjem, grejanjem na gas. Vremenski uslovi su uzeti za prostor Beograda. Stanara su bila dva. Svi uređaji su korišćeni prema preporukama za dva stanara. Početna orijentacija je bila sever–jug sa ulazom okrenutim prema jugu.

Modeli kuće sa kvadratnom osnovom i kuće sa "L" osnovom prikazani su na slici 2. Površina osnove kvadratne i "L" kuće je takođe 60 m², kao kod prva dva modela.



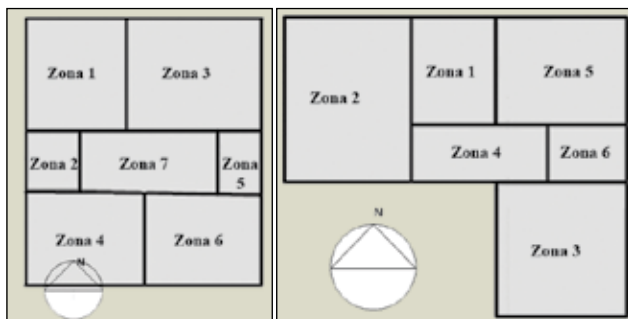
Slika 1. Geometrijske karakteristike analiziranog stambenog objekta; a) plan osnove objekta, b) objekat sa krovom na dve vode; c) objekat sa krovom na četiri vode



Slika 2. Modeli analiziranih stambenih objekata; a) objekat sa kvadratnom osnovom, b) objekat sa „L“ osnovom

Za oba modela kuće prvo su sprovedene osnovne analize sistema grejanja i osnovne simulacije za celu godinu, praćene optimizacijom oba modela.

Obe kuće su prilagođene, prema rasporedu prostorija, za stanovanje četvoročlane porodice. Obe kuće imaju sledeće prostorije: hodnik, kupatilo, dnevnu sobu sa trpezarijom i kuhinjom i dve spavaće sobe. Raspored prostorija prikazan je na slici 3.



Slika 3. Raspored prostorija; a) objekat sa kvadratnom osnovom (levo), b) objekat sa „L“ osnovom (desno)

Za sve prostorije u obe kuće sa spoljnim zidovima postavljeni su prozori sa zastorima koji leti sprečavaju preveliko zagrevanje kuće preko prozirnih površina.

2.2. Korišćene metode

Za proračun, optimizaciju i verifikaciju rezultata korišćen je softverski paket *Design Builder*. Softver nudi mogućnost podešavanja svih parametara, kako bi ovaj objekat mogao da u potpunosti oponaša realne uslove i njegovu realnu eksploataciju. Za proračun potrošnje energije, emisije CO₂, termičke ugodnosti, postignutih temperature i sve ostale parametre, proračun se vrši u softveru *Energy Plus* na koji se oslanja *Design Builder*.

Izvršena je višekriterijumska Pareto optimizacija. Kriterijumi optimizacije su emisija CO₂ i diskomfor. Promenljive ove optimizacije su površina koju prozori zauzimaju na zidu, orijentacije objekta u odnosu na početni položaj i veličina nadstrešnica na krovu. Metoda za optimizaciju koju koristi *Design Builder* je genetski algoritam.

Po izvršenoj optimizaciji izvedeni su zaključci na osnovu kojih je kreiran najpovoljniji model. Za ovaj model prikazani su rezultati emisije CO₂, udobnosti korišćenja objekta, potrošnje energije i izvršeno je njihovo poređenje. Na osnovu

samih rezultata kreiran je konačan model sa najpogodnijim mogućim karakteristikama i izvršena njegova analiza. Rezultati ovog modela takođe su predstavljani u ovom radu.

3. Rezultati izvršene optimizacije

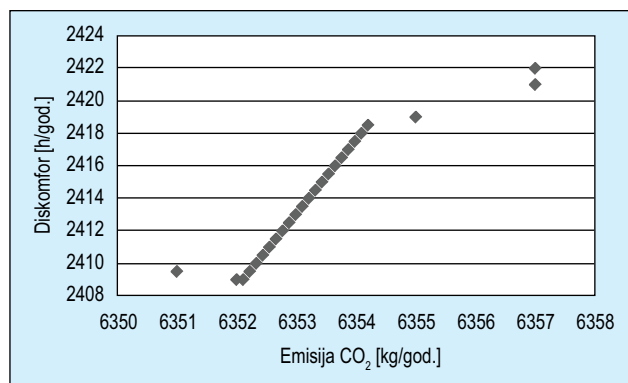
3.1. Tip krova

Za potrebe analize ovog istraživanja urađen je veliki broj dugotrajnih simulacija, ali su u radu predstavljeni samo najznačajniji rezultati. Vrednosti emisije CO₂ i diskomfora pre procesa optimizacije za stambene objekte sistema na dve i četiri vode predstavljene su u tabeli 1.

Tabela 1. Izračunate vrednosti emisije CO₂ i diskomfora za projektovane objekte sistema na dve i četiri vode pre procesa optimizacije

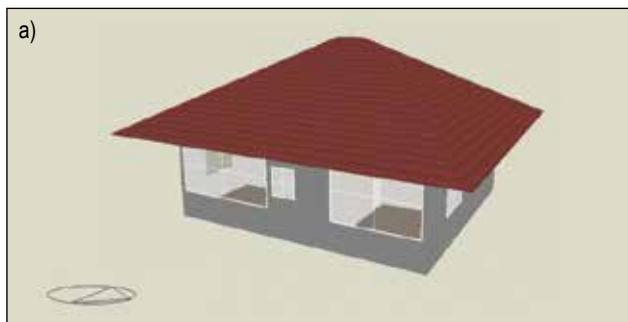
Naziv veličine	Vrednost
Dve vode – emisija CO ₂	6569 kg
Četiri vode – emisija CO ₂	6393 kg
Dve vode – diskomfor	2486 h/god.
Četiri vode – diskomfor	2548 h/god.

U odnosu na početne vrednosti moguće je uočiti da su bolje karakteristike kuće sistema na četiri vode u pogledu emisije CO₂, dok je u pogledu komfora rezultat približno izjednačen. Ovo je neophodno potvrditi i po izvršenoj optimizaciji.



Slika 4. Rezultati optimizacije za stambeni objekat sistema na dve vode

Za optimizaciju predstavljenu na slici 4 dobijena optimalna vrednost za emisiju CO₂ je u opsegu od 6569 kg do 6685 kg, dok je diskomfor u opsegu 2486–2506 časova. To znači



Slika 5. Izgled modela optimalnih karakteristika

da se najpovoljnije karakteristike kuće nalaze u veoma malom opsegu i da izabrane promenljive optimizacije nemaju veliki uticaj na njih. Izabrana moguća kombinacija dobijena optimizacijom je 6569 kg za emisiju CO₂ i 2486 časova za diskomfor. Za ove vrednosti veličinu prozora treba smanjiti na 28%, orijentacija je 43° u odnosu na početni položaj, u suprotnom smeru od smera kazaljke na satu, a koeficijent koji određuje veličinu nadstrešnice ima vrednost 3,578.

Za optimizaciju predstavljenu na slici 5 dobijena optimalna vrednost za emisiju CO₂ je u opsegu od 6351 kg do 6393 kg, dok je diskomfor u opsegu od 2410 do 2548 časova. Izabrana moguća kombinacija dobijena optimizacijom je 6351 kg za emisiju CO₂ i 2410 časova za diskomfor. Za ove vrednosti veličinu prozora treba povećati na 67,50%, orijentacija je 88° u odnosu na početni položaj i koeficijent koji određuje veličinu nadstrešnice ima vrednost 3,734.

Vrednost emisije CO₂ za ovaj model iznosi 6351 kg godišnje, dok je vrednost diskomfora 2410 časova godišnje. Ovaj slučaj je predstavljen na slici 4. Na slici 5 prikazana je optimizovana kuća.

3.2. Rezultati istraživanja vezanih za oblik osnove kuće

Svi rezultati proračuna i simulacija dobijeni su u programskom paketu *Design Builder*. Sve proračune i simulacije softverski paket *Design Builder* vrši preko programa *Energy Plus*. Za potrebe optimizacije sa raznim vrstama promenljivih koje imaju uticaja na gradnju i na kvalitet eksploatacije kuće, u okviru softvera *Design Builder* napravljen je modul koji vrši optimizaciju na osnovu genetskog algoritma.

1) Prethodni proračun potrošnje za grejanje

Pri modeliranju kuća, kao osnovni sistem grejanja za obe kuće, postavljen je sistem grejanja termoakumulacionim pećima. Grejanje termoakumulacionim pećima koristi elek-

tričnu energiju za generisanje toplote. Rezultati prethodnog proračuna grejanja su dati u tabeli 2.

2) Optimizacija parametara grejanja, zatamnjenja i tipa prozora

Da bi se napravio izbor između ova dva tipa kuće, mora se prvo izvršiti optimizacija oba tipa. Optimizacija oba tipa kuće se vrši da bi se odredila njihova maksimalna energetska efikasnost prema izboru sledećih parametara koji su veoma tesno povezani: sistem grejanja, vrsta prozora koji se ugrađuju u kuću, koeficijent zasenčivanja i udeo prozora u spoljnim zidovima kuće.

Pre optimizacije sa početnim parametrima, emisija CO₂ za kuću sa kvadratnom osnovom iznosila je 8880 kg godišnje, dok je broj nekomfortnih sati bio 2559, takođe na godišnjem nivou. Za kuću "L" oblika emisija CO₂ pre optimizacije je iznosila 8806 kg na godišnjem nivou, dok je broj nekomfortnih sati bio 2571.

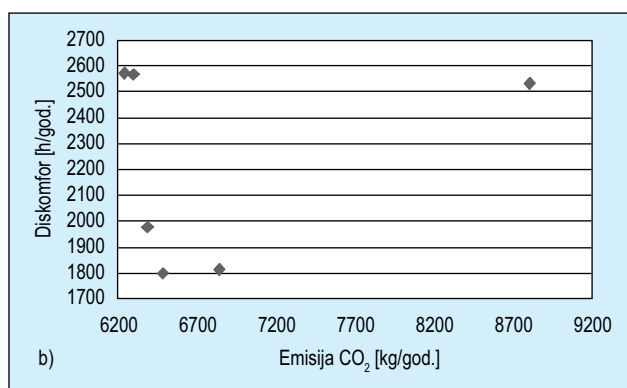
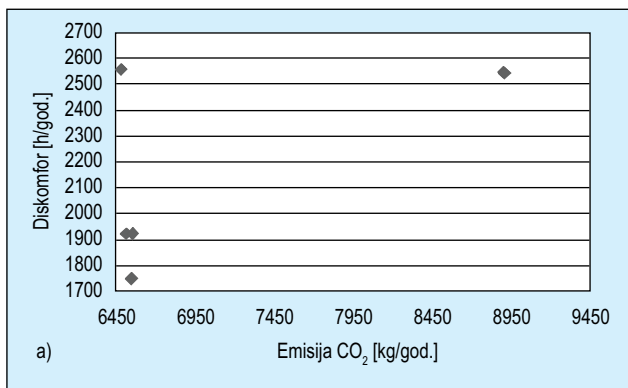
Optimizacija u softverskom paketu *Design Builder* vrši se primenom metode genetskog algoritma. Izvršena optimizacija daje Pareto optimum. U postavci promenljivih sistema grejanja uzeto je osam sistema koji se zasnivaju na sistemu grejanja radiatorima, na sistemu podnog grejanja, na sistemu grejanja vazduha i dr. Za promenljive vrste prozora usvojeno je pet vrsta: aluminijumski prozori, aluminijumski prozori sa termoprekidom, drveni prozori, lakirani drveni prozori i PVC prozori. Koeficijent zasenčivanja je podešen od 0 do 1,5, dok je udeo spoljnih prozora na zidovima podešen od 20% do 80%. Za funkciju cilja je postavljena minimizacija emisije CO₂ i minimizacija broja nekomfortnih sati u kući tokom godine. Broj nekomfortnih sati u kući godišnje podrazumeva broj sati kad uslovi u kući imaju veću varijaciju od 10% u odnosu na idealne. Grafici izvršene optimizacije su prikazani na slici 6.

Pri Pareto optimizaciji kuće sa kvadratnom osnovom emisija CO₂ se kreće od 6483 kg do 8915 kg godišnje. Broj ne-

komfortnih sati se kod ove optimizacije kreće od 1747 do 2559 sati godišnje. Kao Pareto optimum prema najmanjoj emisiji CO₂ dobijeni su sledeći parametri: udeo prozora u spoljnim zidovima 42%, sistem podnog grejanja sa prirodnim provetranjem, koeficijent zasenčenja od 0,240 i izbor prozora od lakirnog drveta pri emisiji

Tabela 2. Prethodni proračun grejanja za "L" i kvadratnu kuću

Naziv prostorije	Kuća sa kvadratnom osnovom			Kuća sa „L“ osnovom		
	Temperatura [°C]	Gubici u ustaljenom režimu rada [kW]	Projektovani kapacitet [kW]	Temperatura [°C]	Gubici u ustaljenom režimu rada [kW]	Projektovani kapacitet [kW]
Hodnik	19,60	1,84	2,30	19,22	1,06	1,32
Kupatilo	19,68	0,48	0,60	19,59	0,58	0,73
Spavaća soba 1	19,29	1,69	2,11	18,49	2,48	3,10
Spavaća soba 2	19,28	1,65	2,06	19,03	1,88	2,35
Dnevna soba	19,29	2,33	2,92	18,49	2,97	3,71
Kuhinja	19,29	1,72	2,15	19,54	1,16	1,46
	Σ	9,71	12,14	Σ	10,13	12,67



Slika 6. Pareto optimum; a) kuće sa kvadratnom osnovom i b) kuće sa „L” osnovom

ji od 6483 kg CO₂ godišnje, a broj nekomfortnih sati 2559 sati godišnje.

Pri Pareto optimizaciji kuće sa „L” osnovom emisija CO₂ se kreće od 6242 kg do 8808 kg godišnje. Broj nekomfortnih sati pri kući sa „L” osnovom se kreće od 1799 do 2571 godišnje. Kao Pareto optimum prema najmanjoj emisiji CO₂ dobijeni su sledeći parametri: udeo prozora u spoljnim zidovima 59%, sistem grejanja radijatorima sa prirodnim provetravanjem, koeficijent zatamnjenja od 0,242, izbor prozora od PVC profila pri emisiji od 6242 kg CO₂ godišnje, a broj nekomfortnih sati od 2571 sata godišnje.

3) Završni proračun potrošnje za grejanje

Posle izvedene optimizacije izvršen je završni proračun potrošnje sistema za grejanje. Optimalno rešenje udela prozora u spoljnim zidovima je različito za obe kuće. Za kuću sa „L” osnovom potreban je veći udeo prozora u spoljnim zidovima. Za kuću sa kvadratnom osnovom optimizacijom je dobijen sistem podnog grejanja, koji se razlikuje od početno izabranog sistema grejanja radijatorima. U kući sa „L” osnovom ostao je isti sistem grejanja. Pri optimalnom izboru prozora takođe se javlja razlika. Za kuću sa kvadratnom osnovom optimizacijom je dobijeno da je potrebno ugraditi prozore od lakiranog drveta, dok u kuću sa „L” osnovom kao optimalno rešenje treba ugraditi prozore od PVC profila. Koeficijenti zatamnjenja se ne razlikuju bitno za obe vrste kuće. Rezultati sprovedenog proračuna dati su u tabeli 3.

4. Zaključak

Kao osnovni zaključak treba navesti da postoji realna mogućnost maksimizacije povoljnih efekata, uz istovremenu minimizaciju negativnih efekata pri izgradnji i eksploataciji niskih stambenih građevinskih objekata. Sa aspekta troškova kuće, vrednosti su približne za prvoprojektovane objekte i optimalno rešenje, tako da je ovaj aspekt u ovom istraživanju moguće zanemariti.

Stambeni objekat dobijen optimizacijom bolji je po kriterijumu emisije CO₂ od početne vrednosti objekta sistema na dve vode za oko

3,4%, a od objekta sistema na četiri vode za oko 0,6%. Stambeni objekat dobijen optimizacijom bolji je po kriterijumu diskomforta od početne vrednosti objekta sistema na dve vode za oko 3,2%, a od objekta sistema na četiri vode za oko 5,7%. Po kriterijumu potrošnje energije stambeni objekat dobijen optimizacijom ima srazmerno smanjenu potrošnju energije u odnosu na smanjene emisije CO₂.

Upoređivanjem početnih parametara emisije CO₂ za kuće sa kvadratnom i „L” osnovom vidi se da je zagađenje za kuću sa „L” osnovom manje za 0,83%, u početnim uslovima pre optimizacije. Broj nekomfortnih sati je približno jednak za obe kuće. Posle optimizacije za kuću sa kvadratnom osnovom emisija CO₂ se smanjuje za 27%, dok se za kuću sa „L” osnovom smanjuje za 29%. Broj nekomfortnih sati ostaje približno jednak za obe kuće. Upoređivanjem emisija CO₂ obeju kuća posle optimizacije, kuća sa „L” osnovom ima za oko 4% manju emisiju CO₂ od kuće sa kvadratnom osnovom.

Upoređivanjem potrebne snage za pokretanje grejnih sistema pre i posle optimizacije, za kuću sa kvadratnom osnovom dobija se da je posle optimizacije potrebna oko 6% veća snaga za grejanje. Upoređivanjem potrebne snage za pokretanje grejnog sistema pre i posle optimizacije kuće sa „L” osnovom dobija se da joj je potrebna oko 4% manja snaga za grejanje.

Posle optimizacije prema ovim kriterijumima izvodi se zaključak da je sa aspekta minimizacije emisije CO₂ bolje graditi kuću sa „L” osnovom i krovom na četiri vode. Velika prednost kuće sa „L” osnovom, u odnosu na ostale tri, bila bi i u manjoj potrošnji sistema za grejanje. Upoređivanjem vrednosti snage potrebne za grejne sisteme, kuća sa „L” osnovom nakon optimizacije ima oko 6% manju potrošnju od kuće sa kvadratnom osnovom.

Tabela 3. Završni proračun grejanja za „L” i kvadratnu kuću

Naziv prostorije	Kuća sa kvadratnom osnovom			Kuća sa „L” osnovom		
	Temperatura [°C]	Gubici u ustaljenom režimu rada [kW]	Projektovani kapacitet [kW]	Temperatura [°C]	Gubici u ustaljenom režimu rada [kW]	Projektovani kapacitet [kW]
Hodnik	19,29	1,86	2,34	19,25	1,05	1,31
Kupatilo	19,58	0,49	0,61	19,69	0,57	0,71
Spavaća soba 1	18,94	1,80	2,25	18,79	2,34	2,92
Spavaća soba 2	18,93	1,76	2,20	19,23	1,8	2,25
Dnevna soba	18,92	2,48	3,10	18,66	2,87	3,59
Kuhinja	18,85	1,87	2,34	19,63	1,14	1,42
	Σ	10,26	12,84	Σ	9,77	12,2

Moguće je uočiti povećanje performansi niskog građevinskog stambenog objekta implementacijom procesa optimizacije u procesu njihovog projektovanja. Parcijalna poboljšanja performansi nisu drastična, ali sveukupne karakteristike objekta se u velikoj meri poboljšavaju. Ovakav pristup doprinosi većoj ugodnosti eksploatacije objekata i očuvanju životne sredine. Dalja istraživanja u ovoj oblasti bi mogla da se baziraju na korišćenju i drugih geometrijskih figura za osnovu kuće.

Zahvalnica

Ovaj rad je rezultat dva projekta: (1) projekta TR33015 Ministarstva prosvete nauke i tehnološkog razvoja i (2) projekta III 42006 integralnih i interdisciplinarnih istraživanja Republike Srbije. Prvi projekat se zove "Istraživanje i razvoj srpske neto-nulte energetske kuće", a drugi "Istraživanje i razvoj energetske i ekološki visokofrekventnih sistema poligeneracije zasnovanih na obnovljivim izvorima energije". Zahvaljujemo Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja na finansijskoj podršci tokom ovih istraživanja.

5. Literatura

- [1] **Fesanghary, M., S. Asadi, Zong Woo Geem**, *Design of low-emission and energy-efficient residential buildings using a multi-objective optimization algorithm*, Building and Environment, Volume 49, March 2012, pp. 245–250, ISSN 0360-1323.
- [2] **Liu, Sha, Ran Tao, Chi Ming Tam**, *Optimizing cost and CO₂ emission for construction projects using particle swarm optimization*, Habitat International, Volume 37, January 2013, pp. 155–162, ISSN 0197-3975.
- [3] **Bojić, Milorad, Marko Miletić, Ljubiša Bojić**, *Optimization of thermal insulation to achieve energy savings in low energy house (refurbishment)*, Energy Conversion and Management, Volume 84, August 2014, pp. 681–690, ISSN 0196-8904.
- [4] **Soršak, Marko, Vesna Žegarac Leskovar, Miroslav Premrov, Darko Goričanec, Igor Pšunder**, *Economical optimization of energy-efficient timber buildings: Case study for single family timber house in Slovenia*, Energy, Available online 2 June 2014, ISSN 0360-5442.
- [5] **Ferrara, Maria, Enrico Fabrizio, Joseph Virgone, Marco Filippi**, *A simulation-based optimization method for cost-optimal analysis of nearly Zero Energy*

Buildings, Energy and Buildings, Volume 84, December 2014, pp. 442–457, ISSN 0378-7788.

- [6] **Cvetković, Dragan, Milorad Bojić**, *Optimization of thermal insulation of a house heated by using radiant panels*, Energy and Buildings, Volume 85, December 2014, pp. 329–336, ISSN 0378-7788.
- [7] **Diakaki, Christina, Evangelos Grigoroudis, Nikos Kabelis, Dionyssia Kolokotsa, Kostas Kalaitzakis, George Stavrakakis**, *A multi-objective decision model for the improvement of energy efficiency in buildings*, Energy, Volume 35, Issue 12, December 2010, pp. 5483–5496, ISSN 0360-5442.
- [8] **Asadi, Ehsan, Manuel Gameiro da Silva, Carlos Henggeler Antunes, Luís Dias**, *Multi-objective optimization for building retrofit strategies: A model and an application*, Energy and Buildings, Volume 44, January 2012, pp. 81–87, ISSN 0378-7788.
- [9] **Diakaki, Christina, Evangelos Grigoroudis, Dionyssia Kolokotsa**, *Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings*, Energy and Buildings, Volume 40, Issue 9, 2008, pp. 1747–1754, ISSN 0378-7788.
- [10] **Magnier, Laurent, Fariborz Haghghat**, *Multiobjective optimization of building design using TRNSYS simulations, genetic algorithm, and Artificial Neural Network*, Building and Environment, Volume 45, Issue 3, March 2010, pp. 739–746, ISSN 0360-1323.
- [11] **Wright, Jonathan A., Heather A. Loosemore, Raziyeh Farmani**, *Optimization of building thermal design and control by multi-criterion genetic algorithm*, Energy and Buildings, Volume 34, Issue 9, October 2002, pp. 959–972, ISSN 0378-7788.
- [12] **Wang, Weimin, Radu Zmeureanu, Hugues Rivard**, *Applying multi-objective genetic algorithms in green building design optimization*, Building and Environment, Volume 40, Issue 11, November 2005, pp. 1512–1525, ISSN 0360-1323.
- [13] **Zhang, Y., A. Tindale, A. O. Garcia, I. Korolija, E. G. Tresidder, M. Passarelli, P. Gale**, *How to Integrate Optimization INTO Building Design Practice: Lessons Learnt from a Design Optimization Competition*, 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, 2013, August 26–28, Conference proceedings, pp. 1860–1868.

kgh

IZDAVANJE ENERGETSKOG PASOŠA ZGRADA

ENERGETSKI RAZREDI

- A+
- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G

- Odnosivanje koeficijenta "U" prostora toplotne
- Vazдушna propusnost
- Termoozonsko opterećenje objekata
- Buka i vibracije
- Kvalitet zvučne izolacije
- Životna sredina
- Izvor buke
- Merenje protoka vode, vazduha
- Merenje temperature, relativne vlažnosti, mikroskopske i ugodnosti
- Odnosivanje kapaciteta izmenjivača

INSTALACIJA INŽENJERING
www.installinc.rs, installinc@eunet.rs, installinc@gmail.com
C: 011/3184348 | 011/3187538 | mob. 063/226679
AKREDITOVANA LABORATORIJA | PROJEKTOVANJE, MONTAŽA, REGULACIJA, INŽENJERING

MTA
Cooling, conditioning, purifying
www.mta-it.com
Chilleri i toplotne pumpe

TECHNOLOGY
international services
www.tisbgd.com

ipros®
tehnologija proizvodnja procesi

PLOČASTI IZMENJIVAČI TOPLOTE

Ipros d.o.o.
Predstavništvo Novi Sad
Majevička 5, 21000 Novi Sad
T/F: +381 21 403 242
E: dragan.brenesel@ipros.rs.com
www.ipros.si