

UPOTREBA PASIVNIH SOLARNIH SISTEMA I ZELENIH KROVOVA U ZGRADARSTVU U FUNKCIJI SMANJENJA POTROŠNJE ENERGIJE

Milana Radujković, Petar Gvero

Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Bulevar vojvode Stepe Stepanovića 71, 78000 Banja Luka, Bosna i Hercegovina, milana.radujkovic@student.mf.unibl.org

SAŽETAK

Zgradarstvo, kao jedna od oblasti u kojima je potrošnja energije najveća, istovremeno predstavlja i prioritarno područje u kome su mogućnosti rješavanja ekoloških i ekonomskih problema velike. Ostvarivanje koristi sa energetske, ekološke i ekonomske aspekta, moguće je postići, ne samo upotrebom savremenih tehnologija gradnje, nego i korištenjem obnovljivih izvora energije čija implementacija ne zahtijeva velike i skupe intervencije na objektima. Jedna od takvih mogućnosti je pasivna upotreba solarne energije u cilju postizanja većeg nivoa energetske efikasnosti. Shodno navedenom, rad opisuje i komparativno analizira tri moguća rješenja u cilju postizanja većeg nivoa energetske efikasnosti stambene zgrade, i to kroz implementaciju 3 varijante: termotehničke mjere (obnova omotača), Trombov zid i ekstenzivan zeleni krov. Pozitivan uticaj ovakvog vida upotrebe obnovljivih izvora energije i alternativnih rješenja ima i druge prednosti, posebno kada se govori o smanjenju emisija gasova staklene bašte (s naglaskom na emisije CO₂), postizanju povoljnijih mikroklimatskih uslova izgrađene sredine (sprječavanju stvaranja toplotnog ostrva) i očuvanju životne sredine i zdravlja savremenog čovjeka.

Ključne riječi: Sunčeva energija, pasivni solarni sistem, Trombov zid, zeleni krovovi, energetska efikasnost.

UVOD

Predmet istraživanja ovog rada su pasivni sistemi grijanja i hlađenja objekata u vidu Trombovog zida i ekstenzivnih zelenih krovova koji predstavljaju elemente omotača zgrada pomoću kojih se postiže ušteda energije. Njihovi uticaji će biti prikazani i komparativno analizirani na primjeru zgrade kolektivnog stanovanja u Banjoj Luci. Da bi bilo moguće primijeniti navedene mjere, odabran je objekat koji ispunjava dva osnovna kriterijuma, i to: da ima netransparentnu fasadu južne orijentacije i ravan krov. Cilj istraživanja jeste da se utvrde pozitivni uticaji upotrebe pasivnih solarnih sistema (Trombovog zida) i ekstenzivnog zelenog krova. Prije svega, potrebno je utvrditi energetske uticaje (smanjenje potreba za grijanjem i hlađenjem objekta, odnosno postizanje većeg stepena energetske efikasnosti), a zatim i druge pozitivne efekte, kao što je ekološki (smanjenje emisije ugljen-dioksida i pročišćavanje zagađenja u vazduhu pomoću zelenih površina).

Trombov zid kao pasivni solarni sistem radi na principu akumuliranja Sunčevih zraka tokom dana, koji kroz staklenu površinu padaju na masivni zid crne boje koji se zagrijava. Dio energije akumulira zid, a dio cirkuliše kroz otvore koji se nalaze na vrhu i na dnu zida, usljed efekta staklene bašte. Tokom noći, zid kao akumulator toplote, odaje toplotu u unutrašnjost objekta. Kako se zid ne bi noću hladio, postavlja se zaslona između stakla i zida koja se tokom noći u zimskom periodu spušta i služi kao termalni zastor. S druge strane, u ljetnom periodu tokom dana, ona se spušta u cilju sprječavanja intenzivnog zagrijavanja zida (Chel, Nayak, & Kaushik, 2008).

Ekstenzivni krovni vrtovi nisu namijenjeni korištenju, nego prvenstveno imaju zaštitnu i ekološku funkciju. U tom slučaju koristi se tanak sloj sukulentnih biljaka, mahovina, korova i slično ili biljke u posudama koje ne traže njegu, nego se same obnavljaju i traže veoma malo vlage (Osmundson, 1999). Osnovne prednosti upotrebe zelenih krovova na objektima u gradskim sredinama mogu se svrstati u dvije grupe, i to: ekološke funkcije (zadržavanje padavina u podlozi i djelimično vraćanje u atmosferu putem transpiracije, smanjivanje temperaturnih ekstrema u mikroklimatskom području, umanjivanje intenziteta zračenja, povećanje vlažnosti vazduha, uticaj

na rashlađivanje sredine, povećanje produkcije kiseonika što ima za posljedicu poboljšanje kvaliteta vazduha, upijanje prašine i snižavanje buke) i zaštitne i termoizolacione funkcije (pri spoljnoj temperaturi od +25°C, u prostorijama ispod krova temperatura je niža za 3 do 4° pri debljini zelenog sloja od samo 10 cm; temperaturni ekstremi se mogu smanjiti na 30°C u odnosu na pošljunčani krov gdje mogu biti i do 100°C; dobra zaštita od starenja i mehaničkih oštećenja) (Chen, & Williams, 2009).

Dosadašnja istraživanja u ovoj oblasti pokazala su da postoje mnogobrojni pozitivni uticaji ovakvog vida unapređenja termičkog omotača zgrada. Pri tome, bitno je napomenuti i da su pozitivni uticaji vidljivi sa mnogih aspekata, ne samo energetskog. Ekološki uticaji, u vidu smanjenja emisija ugljen-dioksida i smanjenja temperature, ne samo u objektu na kom se nalazi zeleni krov, nego i u okolnom prostoru, od velikog su značaja za umanjenje negativnih efekata klimatskih promjena, u smislu sprječavanja stvaranja toplotnih ostrva, što je sve češća pojava u gusto izgrađenim sredinama (Alexandri, & Jones, 2008). Govoreći o tome i posmatrajući ovu problematiku sa šireg aspekta, to može doprinijeti i globalnim naporima da se ostvare ciljevi održivog razvoja koje promovise Agenda 2030, posebno kada je riječ o sljedeća tri cilja: Održivi gradovi i zajednice, Odgovorna potrošnja i proizvodnja i Očuvanje klime (United Nations, 2015).

Negativni efekti klimatskih promjena koje se javljaju usljed prirodnih ciklusa i antropogenog djelovanja odražavaju se na sve aspekte životne sredine i života savremenog čovjeka: ljudsko zdravlje, ekosisteme, ekonomiju, socijalna pitanja i slično. U svim većim gradovima, životna sredina je toliko ugrožena da se dovodi u pitanje zdravlje i opstanak stanovništva. To je jedan od osnovnih razloga zašto se sve više javlja potreba da se preduzmu značajniji koraci po tom pitanju. Upotreba novih tehnologija gradnje i razvoj savremenog urbanizma u pravcu povećanja kvaliteta životnog prostora, a samim tim i kvaliteta života stanovništva gradskih sredina, uveliko bi uticali na energetsku efikasnost, očuvanje životne sredine, umanjenje negativnih efekata klimatskih promjena, a samim tim i ostvarivanje ciljeva održivog razvoja.

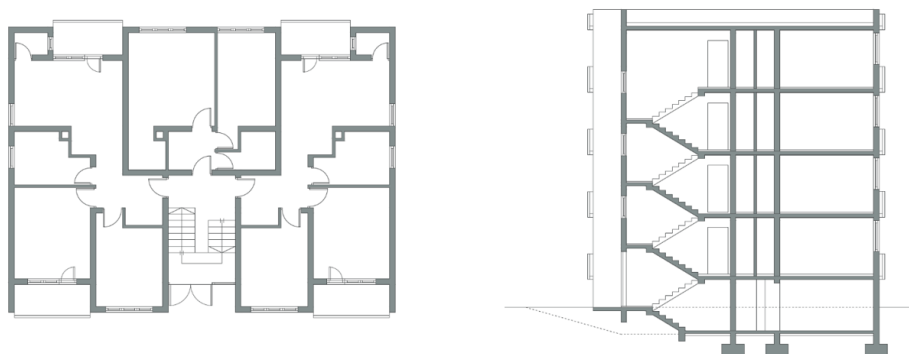
Imajući u vidu da se u današnje vrijeme u zgradarstvu potroši oko polovine proizvedene energije, neophodno je posmatrati i proučavati zgrade, ne samo kao građevinske objekte, nego i kao termodinamičke objekte na kojima je moguće primjenjivati nove tehnologije za korištenje obnovljivih izvora energije. Na teritoriji Bosne i Hercegovine, prema dostupnim podacima, postojeće zgrade individualnog i kolektivnog stanovanja troše jednake količine energije kao što su trošili objekti sličnih karakteristika u Evropi u periodu 90-ih godina prošlog vijeka (Kulić, 2019).

MATERIJAL I METODE RADA

Za potrebe ovog istraživanja korištena je kombinacija 3 softverska alata, kako bi se došlo do krajnjih rezultata. Prva faza rada obuhvatila je izradu 3D modela predmetnog objekta pomoću SketchUp softvera, na osnovu datih podataka za odabrani objekat prema Tipologiji stambenih zgrada Bosne i Hercegovine. Osnovni model je stambena zgrada sa 12 stanova (simulacija je urađena za 4 etaže; suteran nije uzet u obzir jer se ne grije). Prvo varijantno rješenje prikazuje zgradu sa primijenjenim mjerama termoizolacije fasade, međuspratnih konstrukcija i krova, druga varijanta je izgradnja Trombovog zida na izolovanoj zgradi i treća varijanta izgradnja ekstenzivnog zelenog krova debljine 15 cm na izolovanoj zgradi. U drugoj fazi rada korištena je softverska nadogradnja OpenStudio, pomoću koje su uneseni svi potrebni podaci za predmetni objekat nakon sprovedenih mjera unapređenja: konstrukcija (osobine zidova, podova i krova), vrste i karakteristike fasadne stolarije, izloženost fasade suncu i vjetru, klimatski podaci za Banju Luku i podaci o načinu grijanja za osnovni model. Zatim su na druga dva varijantna modela dodati specifični podaci za Trombov zid i zeleni krov. Treća, finalna faza, obuhvatila je izradu simulacije potrošnje energije za grijanje za svaki od predloženih modela i njihovu komparativnu analizu, pomoću softvera EnergyPlus. Ovaj alat omogućava izradu modela grijanja stambenog objekta, pri čemu su u obzir uzeti svi faktori koji utiču na termičko opterećenje zgrade i dobitke energije. Simulacija je urađena za period od godinu dana i dobijeni rezultati prikazuju ukupnu potrošnju energije za grijanje na godišnjem nivou. Zatim je urađena komparativna analiza prema postavljenim varijantnim rješenjima i rezultati su prikazani u vidu tabela i dijagrama. U obzir su

uzeti podaci o ukupnoj potrošnji energije za grijanje, ukupnoj potrošnji energije u novcu i uštedama na godišnjem nivou. Takođe je dat kratak osvrt na emisije CO₂ za predmetni objekat, pri procesu grijanja, prije i nakon sprovedenih predloženih mjera unapređenja omotača zgrade.

Primjer stambene zgrade koji je uzet kao model izgrađen je 80-ih godina prošlog vijeka i sastoji se od 5 etaža i 12 stanova. Bruto površina osnove je oko 200 m², neto površina grijanog prostora iznosi 613,72 m² i zapremina 1552,71 m³. Zgrada je klasične gradnje sa masivnim konstruktivnim sistemom. Konstruktivni zidovi su od opekarskog bloka debljine 25 cm, obostrano omalterisani, sa vertikalnim i horizontalnim armirano-betonskim serklažama. Međuspratne konstrukcije su izgrađene od punih armiranobetonskih ploča. Termoizolacija je urađena iznad suterena i na krovu, debljine 3 do 5 cm. Prozori i balkonska vrata su dvostruka drvena spojena krila sa dva jednostruka stakla (Arnautović-Aksić i sar., 2016). Osnova objekta i vertikalni presjek prikazani su na slikama 1 i 2.

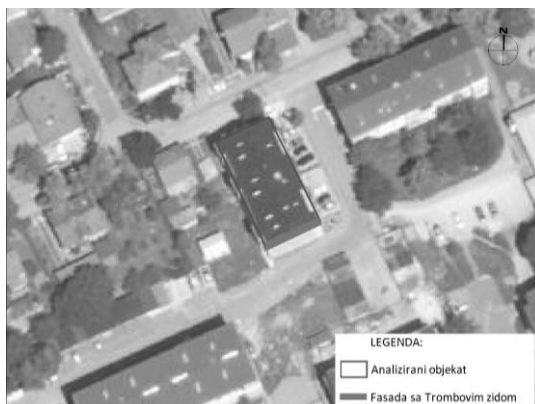


Slike 1. i 2. Osnova i vertikalni presjek modela stambenog objekta.
Figures 1 and 2. Floor plan and section of a residential building model.

Na prvom varijantnom rješenju primijenjene su termotehničke mjere obnove fasade, međuspratnih konstrukcija i krova izolacionim materijalom debljine 10 cm. Na drugom rješenju, uz ove mjere, predložena je izgradnja Trombovog zida na južnoj fasadi i na trećem izgradnja ekstenzivnog zelenog krova debljine 15 cm zajedno sa termotehničkim mjerama.

REZULTATI I DISKUSIJA

Primjena mjera pasivnog grijanja i hlađenja objekata u dosadašnjoj praksi pokazala je veoma dobre rezultate, kada se radi o području Bosne i Hercegovine gdje postoji veliki potencijal za korištenje pasivnih solarnih sistema. Stoga, u ovom dijelu rada, osim termotehničkih mjera, istražen je i prikazan uticaj primjene Trombovog zida i ekstenzivnog zelenog krova za unapređenje energetske karakteristika na primjeru stambenog objekta. Za primjer je uzet objekat kolektivnog stanovanja koji se nalazi na području Grada Banja Luka, pripada tipu manjih stambenih zgrada i ima 2 osnovna preduslova za primjenu navedenih mjera: netransparentnu fasadu južne orijentacije koja nije zaklonjena drugim objektima i ravan krov pogodan za ozelenjavanje. Lokacija i položaj objekta prikazani su na Slici 3. Podaci o postojećem stanju omotača zgrade i predložene termotehničke mjere za njegovu obnovu preuzete su iz Tipologije stambenih zgrada Bosne i Hercegovine (Arnautović-Aksić i sar., 2016).

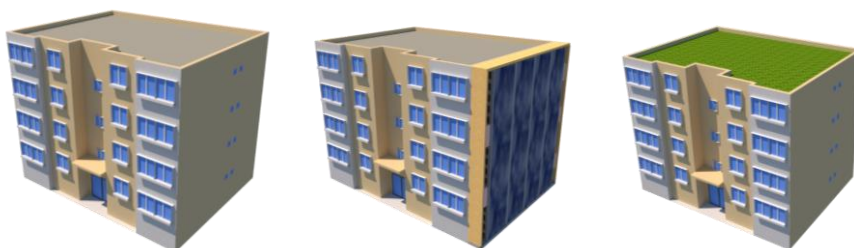


Slika 3. Lokacija i položaj analiziranog objekta na ortofoto snimku Grada Banja Luka.
Figure 3. Location and position of the analyzed object on the orthophoto of the City of Banja Luka.

Istraživanje mjera unapređenja omotača zgrade obuhvatilo je 3 varijantna rješenja:

- Primjena termotehničkih mjera (izolacija fasade, međuspratnih konstrukcija i krova termoizolacijom debljine 10 cm);
- Primjena termotehničkih mjera prema rješenju 1 i izgradnja Trombovog zida na južnoj fasadi
- Primjena termotehničkih mjera prema rješenju 1 i izgradnja ekstenzivnog zelenog krova.

U prvom predloženom rješenju, urađena je termoizolacija elemenata omotača postojećeg objekta. Dodana je termoizolacija debljine 10 cm na spoljašnjim zidovima, međuspratnoj konstrukciji iznad negrijanog podruma i na krovu. Predložena je zamjena fasadne stolarije (postojeći drveni dvostruki prozori i balkonska vrata sa spojenim krilima i jednostrukim staklom zamijenjeni su prozorima i vratima sa dvostrukim staklom). Izgled objekta dat je na Slikama 4 – 6.



Slike 4., 5. i 6. 3D model objekta (varijantna rješenja).
Figures 4, 5 and 6. 3D model of the building (variant solutions).

Primjenom mjera unapređenja omotača zgrade i fasadne stolarije dostignut je povoljniji U-koeficijent za sve sastavne dijelove. Na primjer, postojeće stanje prikazuje da je koeficijent prolaza toplote spoljašnjeg zida iznosio $U = 1,45 \text{ W/m}^2/\text{K}$, a nakon mjera unapređenja smanjen je na $U = 0,32 \text{ W/m}^2/\text{K}$. Prema tome, može se zaključiti da je sprovođenjem predloženih mjera, unaprijeđen sistem potrošnje energije za grijanje objekta, odnosno omogućene su uštede energije, a samim tim i finansijskih sredstava, kao i smanjenje emisije CO_2 .

U drugom predloženom rješenju, uz termoizolaciju elemenata omotača postojećeg objekta, predložena je izgradnja Trombovog zida na južnoj fasadi objekta. Upotrebjeno je troslojno staklo debljine 4 mm, a rastojanja između slojeva su 18 i 13 mm. Staklena konstrukcija postavljena je na udaljenost od 10 cm od betonskog zida čija je vanjska strana obojena u crno i koeficijent

apsorpcije iznosi 0,91. Kako bi se spriječilo prebrzo hlađenje betona tokom zime i pregrijavanje tokom ljeta, između betona i stakla je postavljena aluminijska roletna, punjena poliuretanom. Predloženo rješenje je uzeto prema sličnom primjeru iz naučnog rada (Malešević i Cvetković, 2017). Uticaj Trombovog zida na potrošnju energije za grijanje i hlađenje kuće neto nula potrošnje fosilne energije.

U trećem predloženom rješenju, uz termoizolaciju elemenata omotača postojećeg objekta, predložena je izgradnja zelenog krova ekstenzivnog tipa, prema specifikaciji proizvođača koji je prisutan na teritoriji Bosne i Hercegovine (Tenzo, 2022). Sastoji se od zaštitne protivkorjenske folije, hidroizolacione membrane i drenažnog sloja sa supstratom i vegetacijom debljine 15 cm. Upotrebljene su sukulentne vrste biljaka (sedumi i mahovine) kojima nije potrebna dodatna njega nakon formiranja i same se obnavljaju.

Prema podacima datim u Tipologiji stambenih zgrada Bosne i Hercegovine, specifična godišnja potrebna energija za grijanje u predmetnom objektu bez primijenjenih mjera iznosi 189,20 kWh/m² na godišnjem nivou, sa prekidom. Neto površina grijanog prostora iznosi 613,72 m². Dakle, ukupna potrošnja energije za grijanje istraživanog objekta na godišnjem nivou iznosi 116.115,82 kWh. Nakon sprovođenja termotehničkih mjera unapređenja, ukupna potrošnja energije na godišnjem nivou smanjena je na 57,46 kWh/m², odnosno ukupno 35.264,35 kWh, što iznosi oko 30%.

Gradska Toplana koja isporučuje uslugu grijanja najčešće naplatu vrši po 3 principa: po kvadratnom metru grijne površine sa naplatom tokom cijele godine (12 mjeseci), po kvadratnom metru grijne površine sa naplatom tokom sezone grijanja (6 mjeseci) ili po utrošku očitano na kalorimetru po cijeni od 114,00 KM/MW bez PDV-a (Eko-toplane Banja Luka, 2022). Prilikom proračuna potrošnje energije u novcu za ovo istraživanje uzeta je u obzir cijena koja iznosi 0,114 KM/kW bez PDV-a.

Na osnovu proračuna koji je dobijen pomoću softverskih simulacija, a odnosi se na potrošnju energije za grijanje za cijeli objekat, dobijene su jedinične vrijednosti (po m²) dijeljenjem ukupnog iznosa sa neto površinom grijanog prostora. Potrošnja energije u novcu dobijena je množenjem jedinične cijene prema cjenovniku gradske Toplane sa ukupnom količinom potrebne energije za grijanje, za svako varijantno rješenje pojedinačno. Prema tome, u Tabeli 2 prikazane su uštede energije u kWh i u novcu na godišnjem nivou, kao i količina emisije CO₂ koja se emituje usljed upotrebe fosilnih goriva za potrebe grijanja objekta.

Simulacija je pokazala da se u toku jedne godine najviše energije potroši za zgradu u prvom varijantnom rješenju, zatim u drugom (sa Trombovim zidom), a najmanje u trećem (sa zelenim krovom). U skladu s tim, najveći doprinos smanjenju emisije ugljen dioksida daje varijantno rješenje broj 3. Rezultati su prikazani u tabelama 1 i 2 i dijagramima 1 i 2.

Tabela 1. Rezultati simulacije potrošnje prema varijantnim rješenjima.

Table 1. Results of consumption simulation according to variant solutions.

	Potrošnja energije kWh/m²/god Energy consumption kWh/m²/year	Ukupna potrošnja energije za objekat kWh/god Total energy consumption kWh/year	Potrošnja energije u novcu KM/kW (bez PDV-a) Energy consumption in money BAM/kW (excluding VAT)	Emisija CO₂ t/god CO₂ emission t/year
Stanje/Current condition	189,20	116.115,82	13.237,20	55,42
Rješenje/Solution 1	57,46	35.264,35	4.020,14	15,90
Rješenje/Solution 2	51,71	31.735,46	3.617,84	14,31
Rješenje/Solution 3	47,50	29.151,70	3.323,29	13,19

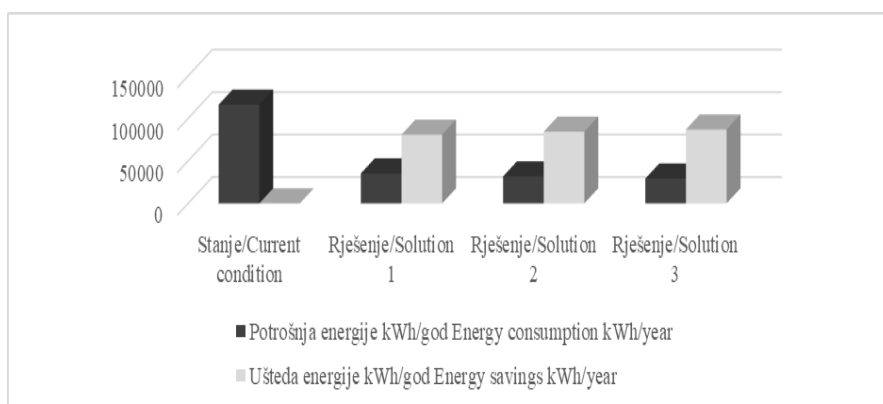
Tabela 2. Rezultati godišnjih ušteda prema varijantnim rješenjima.

Table 2 Results of annual savings according to variant solutions.

	Ušteda u potrebnoj toplotnoj energiji za grijanje kWh/god Savings in the required thermal energy for heating kWh/year	Smanjenje emisija CO₂ t/god Reduction of CO₂ emissions t/year	Ušteda u novcu KM/god (bez PDV-a) Money savings BAM/year (excluding VAT)
Rješenje/Solution 1	80.851,47 (69,63%)	39,52 (71,30%)	9.217,06
Rješenje/Solution 2	84.380,36 (72,67%)	41,11 (74,18%)	9.619,36
Rješenje/Solution 3	86.964,12 (74,89%)	42,23 (76,20%)	9.913,91

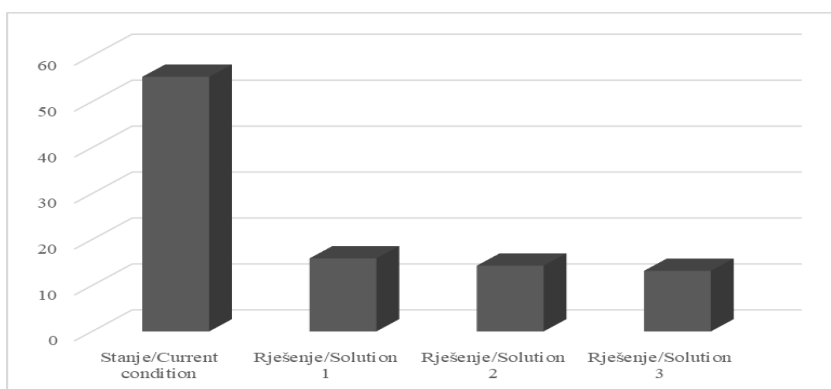
Posmatrajući rezultate prema Tabeli 2, ukupne uštede energije za grijanje objekta u odnosu na prvo varijantno rješenje iznose 3.528,89 kWh/god, odnosno oko 10% za rješenje sa Trombovim zidom. Istraživanja efekata Trombovog zida na zgradi za skladištenje meda, simulacijom pomoću TRNSYS softvera, pokazala su da se na godišnjem nivou može postići ušteda energije do 3.312 kWh (Chel, Nayak, & Kaushik, 2008). Uporedne analize različitih vrsta Trombovog zida na individualnom stambenom objektu, pokazale su da se izgradnjom vertikalnog Trombovog zida može uštediti oko 9,41% energije za grijanje na godišnjem nivou (Malešević i Cvetković, 2017).

Kada je u pitanju varijantno rješenje broj 3 koje podrazumijeva izgradnju ekstenzivnog zelenog krova na istraživanom objektu, rezultati simulacije su pokazali da u odnosu na prvo rješenje, uštede u potrebnoj toplotnoj energiji za grijanje iznose 6.112,65 kWh/god, odnosno 5,26%. U studiji koja je koristila kombinaciju dva simulacijska softvera, EnergyPlus i ENVI-met za procjenu toplotnih prednosti zelenog krova u urbanim područjima, rezultati istraživanja otkrili su da su zeleni krovovi od velike pomoći u smanjenju površinske temperature, kao i potrošnje energije zgrada u urbanim sredinama (Morakinyo, Dahanayake, & Chow, 2017). Rezultati istraživanja Karterisa i saradnika, otkrili su da se zelenim krovom može postići smanjenje potrošnje grijanja i hlađenja do 5% i 16% respektivno. Ovo će pomoći da se smanje troškovi potrošnje energije zgrade u urbanim sredinama (Karteris, Theodoridou, Mallinis, Tsiros, & Karteris, 2016). Na objektu sa zelenim krovom, temperatura unutrašnjeg vazduha tokom ljetnog perioda smanjena je za 2°C, a godišnja potrošnja energije smanjena je za 6% (Jaffal, Ouldboukhitine, & Belarbi, 2011).



Dijagram 1. Rezultati potrošnje i uštede energije (kWh/god) prema varijantnim rješenjima.

Chart 1. Results of energy consumption and savings (kWh/year) according to variant solutions.



Dijagram 2. Godišnja emisija CO₂ (t/god) prema varijantnim rješenjima.
Chart 2. Annual CO₂ emissions (t/year) according to variant solutions.

Prema dobijenim rezultatima u Tabeli 2, količina CO₂ koja se smanji na godišnjem nivou pri izgradnji zelenog krova na objektu inosi 2,71 t. U odnosu na površinu krova analiziranog objekta (oko 200 m²), to je oko 10,85 kg/m². U dosadašnjim istraživanjima, godišnje prosječno smanjenje emisije CO₂ dostiže nivo od 13,41–97,03 kg/m², u zavisnosti od klimatskih uslova u kojima se nalazi, kao i vrste upotrebljenog biljnog materijala (Besir, & Cuce, 2018).

Dobijeni rezultati u ovom radu pokazuju da ušteda u emisiji CO₂ na godišnjem nivou, na objektu sa Trombovim zidom iznosi 1,5 t. Na modelu individualnog stambenog objekta čija je površina 154 m² i visina stropa 3 m, simulacija pomoću TRNSYS softvera je pokazala da bi izgradnjom Trombovog zida moglo da se uštedi oko 445 kg CO₂ na godišnjem nivou (Jaber, & Ajib, 2011).

ZAKLJUČCI

U ovom istraživanju analizirani su i prikazani rezultati primjene termotehničkih mjera na omotaču stambene zgrade na području Grada Banja Luka, zajedno sa izgradnjom Trombovog zida i ekstenzivnog zelenog krova. Shodno tome, predložena su i komparativno analizirana 3 varijantna rješenja modela objekta. Simulacija potrošnje energije urađena je pomoću EnergyPlus softvera i dobijeni rezultati pokazali su da se najviše energije na godišnjem nivou može uštediti ukoliko se uz termotehničke mjere izgradi i ekstenzivan zeleni krov debljine 15 cm, što povećava uštede energije za oko 17%. Ukupne uštede primjenom ovih mjera iznose oko 75% količine energije na godišnjem nivou za grijanje objekta. Osim toga, dokazano je da izgradnja Trombovog zida na južnoj fasadi objekta može značajno da utiče na smanjenje potrošnje energije za grijanje, i to na način da se uštedi oko 10%, što zajedno sa primjenom termotehničkih mjera iznosi 72,64% ušteda.

Značajan doprinos upotrebe pasivnih solarnih sistema i zelenih krovova ogleda se i u ekološkom aspektu, odnosno smanjenju količine ugljen dioksida na godišnjem nivou. Primjenom ekstenzivnog zelenog krova uz termotehničke mjere, emisija može da se smanji do 76,20%, dok se primjenom Trombovog zida smanjuje za 74,18%, uz implementaciju termotehničkih mjera na omotaču zgrade.

Uzimajući u obzir sve prednosti koje nude pasivni solarni sistemi, kao i krovno zelenilo, ne samo u pogledu ušteda energije, nego i u ekološkom i estetskom smislu, potrebno je raditi na unapređenju ovih sistema i proširenju njihove primjene u Bosni i Hercegovini koja ima značajan potencijal za implementaciju istih. Evropske direktive i ciljevi u oblasti energetske efikasnosti ne zaobilaze ni druge zemlje koje nisu članice Unije, tako da je neophodno raditi na stalnom unapređenju i implementaciji projekata koji doprinose ostvarenju ciljeva održivog razvoja, posebno kada govorimo o Odgovornoj potrošnji i proizvodnji, kao i Održivim gradovima i zajednicama. Promocija ovih aktivnosti i podizanje svijesti o očuvanju životne sredine značajni su zadaci koji treba da budu stalno prisutni u svim sferama i na svim nivoima vlasti, od lokalnog do državnog i globalnog.

LITERATURA

- Alexandri, E., & Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Build. Environ.* 43(4), 480–493.
- Arnautović-Aksić, D., Burazor, M., Delalić, N., Gajić, D., Gvero, P., Kadrić, Dž., Kotur, M., Salihović, E., Todorović, D. i Zagora, N. (2016). *Tipologija stambenih zgrada Bosne i Hercegovine*. Giz, Sarajevo.
- Besir, A., & Cuce, E. (2018). Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82, 915–939.
- Chel, A., Nayak, J., & Kaushik, G. (2008). Energy conservation in honey storage building using Trombe wall, *Energy and Buildings* 40(9), 1643–1650.
- Chen, D., & Williams, N. (2009). *Green roofs as an adaptation to climate change: modelling the green roof at the Burnley campus*. The University of Melbourne, Research Report for CSIRO Climate Adaptation Flagship.
- Eko-toplane Banja Luka. (2022). Tarifni sistem. Preuzeto 16.05.2022. sa <https://ekotoplanebanjaluka.com/tarifni-sistem/>
- Jaber, S., & Ajib, S. (2011). Optimum Design of Trombe Wall System in Mediterranean Region. *Solar Energy*, 85, 1891–1898.
- Jaffal, I., Ouldboukhitine, S.E., & Belarbi, R. (2011). *A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance*. Renewable Energy, Elsevier.
- Karteris, M., Theodoridou, I., Mallinis, G., Tsiros, E., & Karteris, A. (2016). Towards a green sustainable strategy for Mediterranean cities: assessing the benefits of large-scale green roofs implementation in Thessaloniki, Northern Greece, using environmental modelling, GIS and very high spatial resolution remote sensing data. *Renew Sustain Energy Rev*; 58, 510–25.
- Kulić, E. (2019). Korištenje energije u zgradarstvu. *U Zborniku Međunarodnog kongresa o KGH* (str. 135-147). Beograd, Srbija.
- Malešević, J. i Cvetković D. (2017). Uticaj Trombovog zida na potrošnju energije za grejanje i hlađenje kuće neto nula potrošnje fosilne energije.
- Morakinyo, T.E., Dahanayake, K.K.C., & Chow, CL. (2017). Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: a cosimulation parametric study. *Energy Build*, 145, 226–37.
- Osmundson, T. (1999). *Roof gardens: History, design and construction*. W.W. Norton & Company, New York.
- Tenzo d.o.o. Banja Luka. (2022). Zeleni krovovi. Preuzeto 16.05.2022. godine sa <https://tenzo.ba/zeleni-krovovi/>
- United Nations. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Preuzeto 16.05.2022. sa <https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>

USING PASSIVE SOLAR SYSTEMS AND GREEN ROOFS IN BUILDINGS IN THE FUNCTION OF REDUCING ENERGY CONSUMPTION

Milana Radujković, Petar Gvero

University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering, Bulevar vojvode Stepe Stepanovića
71, 78000 Banja Luka, Bosnia and Herzegovina, milana.radujkovic@student.mf.unibl.org

ABSTRACT

The building sector with the highest energy consumption is also a priority area in which the possibilities of solving environmental and economic problems are great. Achieving benefits from the energy, environmental and economic aspects, can be achieved by using renewable energy sources whose implementation does not require large and expensive interventions on facilities. One such possibility is the passive use of solar energy to achieve a higher level of energy efficiency. The paper will present the basic concepts necessary for understanding the topics and research related to solar energy, energy consumption of residential buildings, the use of the Trombe wall as a heating system and extensive green roofs as a natural insulator of buildings. Accordingly, the paper describes and comparatively analyses three possible solutions to achieve a higher level of energy efficiency of a residential building, through the implementation of 3 scenarios: thermomechanical measures, Trombe wall and extensive green roof. The positive impact of this type of using the alternative solutions, has other advantages: reducing greenhouse gas emissions, achieving more favorable microclimatic conditions of built environment (preventing heat island) and the preservation of the environment and the health of modern man.

Keywords: Solar energy, passive solar system, Trombe wall, green roofs, energy efficiency.