

## UPOTREBA ZELENIH POVRŠINA KAO PASIVNIH MJERA ZA ENERGETSKU OPTIMIZACIJU OMOTAČA ZGRADA

Milana Radujković<sup>1</sup>, Darija Gajić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Bulevar vojvode Stepe Stepanovića 71, 78000 Banja Luka, Bosna i Hercegovina, milana.radujkovic@student.mf.unibl.org

<sup>2</sup>Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Bulevar vojvode Stepe Stepanovića 77/3, 78000 Banja Luka, Bosna i Hercegovina

### SAŽETAK

Dosadašnja istraživanja i statistički podaci pokazali su da se u zgradarstvu na prostoru Evrope troši oko 40% ukupne energije, a najveći dio na zagrijavanje objekata. Pri tome, usljed upotrebe fosilnih goriva, emituje se velika količina štetnih gasova u atmosferu, posebno gasova sa efektom staklene bašte. Stoga, izučavanje novih tehnologija i rješenja u oblasti građenja stambenih i drugih objekata prioritetan je zadatak koji se neminovno postavlja ispred stručnjaka u ovoj oblasti. Osim potrebe za optimizacijom omotača zgrada u funkciji smanjenja potrošnje energije, istovremeno se nameće i potreba za očuvanjem životne sredine, u smislu smanjenja emisija štetnih gasova, sprječavanja stvaranja toplotnih ostrva i prečišćavanja vazduha. U te svrhe koriste se specifične zelene površine, u vidu vertikalnih sistema ozelenjavanja poput zelenih vertikalnih omotača, kao i zelenih krovova. Najveću ulogu u ostvarenju energetske efikasnosti zgrade ima njen omotač. U tom smislu, ovaj rad se bavi proučavanjem inovativnih tehnologija materijalizacije omotača zgrada koje doprinose, ne samo postizanju energetske optimizacije, nego i zaštiti životne sredine. Kao posljedica ovakvog koncepta razvoja urbanizma i projektovanja, analizirana je mogućnost smanjenja potrošnje fosilnih goriva, što bi uveliko uticalo na smanjenje negativnih posljedica klimatskih promjena, kao jednom od aspekata postizanja održivih gradova i zajednica.

**Cljučne riječi:** Sistem vertikalnog ozelenjavanja, zeleni krov, omotač zgrade, energetska efikasnost, pasivne tehnike.

### UVOD

U današnje vrijeme stepen rasta građevinskog sektora je postao toliko intenzivan da se od ukupnih globalnih osnovnih resursa na njega ulaže 30-40%. Nakon industrije i poljoprivrede, zgrade su postale treći najveći potrošač energije porijeklom iz fosilnih goriva (Chel, & Kaushik, 2018). Na području Evrope, potrošnja energije u zgradarstvu iznosi 40-45% od ukupne potrošnje, a oko dvije trećine ove količine pripada privatnim kućama (Zografakis, 2000). Prema dostupnim podacima, u industrijskim zemljama potrošnja energije u zgradarstvu je odgovorna za oko 50% ukupnih emisija CO<sub>2</sub> (Loveday, Parsons, Taki, & Hodder, 2002; Yannas, 1994). Osim toga, zgrade su odgovorne i za druge uticaje na životnu sredinu, posebno kada se govori o zagađenju vazduha i vode izazvanom proizvodnjom materijala i samim procesom izgradnje (Raffetti, Treccani, & Donato, 2019).

Jedan od usvojenih koncepata za prevazilaženje navedenih problema jeste izgradnja zgrada približno nulte energije (Nearly Zero Energy Buildings [NZEB]) koji bi uticao na ograničavanje potrošnje energije (Harkouss, Fardoun, & Biwole, 2018). Kako bi se postigla energetska optimizacija zgrada neophodno je proučavati i razvijati nova tehnološka rješenja koja će pomoći državama da usvoje nove strategije razvoja i standarde u gradnji zgrada. Jedan od glavnih problema koji je vezan za NZEB i pasivne zgrade je povezan sa kvalitetom vazduha i tiče se opšte zaptivenosti zgrade (Asaee, Ugursal, & Beausoleil-Morrison, 2019; Poppendieck, Persily, & Hodgson, 2015). Kako bi se postigli očekivani standardi približno nulte potrošnje i smanjili energetske zahtjevi za grijanje i hlađenje objekata, neophodno je voditi računa o optimizaciji

omotača zgrade koja se može postići na različite načine i upotrebom novih materijala koji će doprinijeti energetske i ekonomske optimizaciji (Huang, Sun, & Musso, 2019).

Osim poboljšanja kvaliteta elemenata omotača zgrade primjenom građevinskih i mašinskih mjera, u ovakve koncepte spada i ozelenjavanje krovova i fasada, što se smatra pasivnim mjerama za postizanje energetskih, ekoloških i ekonomskih benefita, a to su mnogobrojne studije i pokazale. Upotreba vegetacije u urbanom planiranju postala je neophodan aspekt zbog velikih i brojnih prednosti koje ovi sistemi nude: smanjenje efekta stvaranja toplotnog ostrva, sekvestracija CO<sub>2</sub>, retencija vlage, doprinos povećanju raznolikosti biodiverziteta i poboljšanje kvaliteta urbanog pejzaža (Alexandri, & Jones, 2008; MacIvor, & Lundholm, 2011; Thuring, Berghage, & Beattie, 2010; Gedge, & Kadas, 2005; Maas, Verheij, Groenewegen, De Vries, & Spreeuwenberg, 2006; White, & Gatersleben, 2011). Vertikalni sistemi ozelenjavanja zgrada predstavljaju najinovativnije prikaze urbane prirode i moćne alate za bioklimatski i održivi dizajn kada je raspoloživi prostor veoma ograničen, što je slučaj u većini gusto izgrađenih gradskih područja (Alexandri, & Jones, 2008). U eksperimentalnoj studiji na objektu u mediteranskom klimatskom području pokazalo se da zelena fasada može da smanji temperaturu zida tokom dana i do 9,9°C i da poveća relativnu vlažnost vazduha do 18,7% (Blanco, Convertino, Schettini, & Vox, 2021). Upotreba zelenih površina na omotačima zgrada je trenutno jedan od najperspektivnijih načina za uštedu energije u zgradama za doprinos ublažavanju uticaja urbanog toplotnog ostrva. Efekat sjenke koji obezbjeđuju biljke je najznačajniji parametar za ovu svrhu. Termičko ponašanje dva različita tipa SVO zavise od orijentacije fasade, ali dokazano je da i fasade i zidovi utiču na uštedu energije (Pérez, Coma, Sol, & Cabeza, 2017).

Temperatura ambijentalnog vazduha tokom ljetnjih mjeseci opadala je oko zgrada sa ekstenzivnim zelenim krovom sa supstratom na organskoj osnovi na dubini od 10–15 cm (biljke Sedum) (MacIvor, Margolis, Perottob, & Drake, 2016). Zeleni krovovi mogu pomoći da se poboljšaju lokalna urbana toplotna ostrva koja imaju problem sa pregrijavanjem (Emmanuel, 2015). Njihov potencijalni doprinos gradovima otpornim na klimu ogleđa se kroz proaktivnu politiku upotrebe zelenih površina iznad nivoa zemlje (Hall, Handley, & Ennos, 2012; Tzoulas et al., 2007). U poređenju sa betonskim ili konvencionalnim krovovima, istraživači su identifikovali da zeleni krovovi pružaju veći estetski užitak i da se smatra da imaju veći potencijal da podrže psihološku restauraciju (Lee, Williams, Sargent, & Williams, 2016; White, & Gatersleben, 2011). Zeleni krovovi imaju ulogu upravljanja atmosferskim vodama u urbanim sredinama, jer slojevi vegetacije i supstrata imaju sposobnost skladištenja velike količine vode. Kao rezultat toga, smanjuju se mogućnosti za nastanak poplava u urbanom području. Vegetacioni sloj povećava evapotranspiraciju, a podloga (supstrat) upija veliku količinu kišnice, što utiče na smanjenje vršnog protoka i oticanja (Shafique, Williams, Sargent, & Williams, 2018).

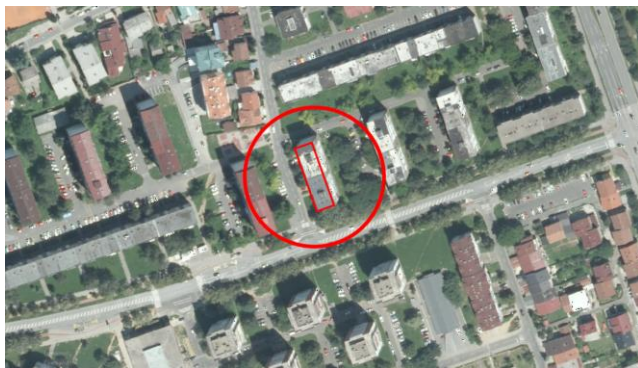
U današnje vrijeme, od zgrada se očekuje da obezbijede dva principa: energetske efikasnost i ekološki prihvatljivo projektovanje. Ova ideja o održivim zgradama obuhvata razna pitanja u vezi sa energijom, vodom, očuvanjem zemljišta i materijala, zajedno sa zagađenjem životne sredine i kvalitetom unutrašnjeg i spoljašnjeg okruženja. Stoga, od velike važnosti u ovom konceptu je proučavanje komponenti omotača zgrade i njihovog uticaja na energetske efikasnost (Sadineni, Madala, & Boehm, 2011).

## **MATERIJAL I METODE RADA**

Predmet istraživanja ovog rada obuhvata specifične zelene površine u vidu zelenih zidova i krovova i njihov uticaj na optimizaciju omotača zgrada. Ovi pasivni sistemi grijanja i hlađenja posmatrani su kao elementi omotača koji utiču na uštedu energije, što će biti prikazano na primjeru zgrade kolektivnog stanovanja. Kako bi pasivni sistemi imali što veći efekat na uštedu energije za grijanje i hlađenje, odabran je objekat koji ispunjava osnovne kriterijume neophodne za instalaciju, odnosno izgradnju zelenih površina, i to: ravan krov i netransparentna fasada južne orijentacije. Za primjer je odabrana zgrada koja se nalazi u naselju Borik, na području Grada Banja Luka. Lokacija i položaj zgrade prikazani su na Slici 1.

Cilj istraživanja jeste da se utvrde svi pozitivni uticaji koje je moguće kvantifikovati nakon upotrebe pasivnih sistema u vidu zelenih površina. Oni su svrstani u tri grupe: energetske, ekološke

i ekonomski. Smanjenjem potreba za grijanjem i hlađenjem objekta dovodi se do postizanja većeg stepena energetske efikasnosti. Ekološki uticaji vidljivi su kroz smanjenje emisije CO<sub>2</sub> usljed smanjene upotrebe fosilnih goriva za zagrijavanje i kroz direktan uticaj, odnosno pročišćavanje štetnih materija u okolnom vazduhu pomoću zelenih površina.



Slika 1. Položaj analiziranog objekta.  
Figure 1 Position of the analyzed building.

Prva faza rada obuhvatila je izradu baznog 3D modela zgrade pomoću Autodesk Revit softvera, na osnovu datih podataka o postojećem stanju (Arnautović-Aksić et al., 2016). Osnovni model je stambena zgrada koja se sastoji od suterena, prizemlja i osam spratova na kojoj su primijenjene termotehničke mjere za obnovu omotača. Prvo varijantno rješenje prikazuje obnovljenu zgradu sa izgrađenim zelenim krovom, druga varijanta je izgradnja zelenog zida na obnovljenoj zgradi i treća varijanta kombinacija zelenog krova i zelenog zida na obnovljenoj zgradi. U drugoj fazi rada korištena je softverska nadogradnja Autodesk Revit Insight koja služi za analizu energetske performansi. Prvo je izvršeno unošenje podataka o elementima omotača zgrade (zidovi, krov, podovi i otvori), odnosno tipa konstrukcije i U-koeficijenti za svaki od njih. Zatim su na varijantnim modelima dodati specifični podaci za zeleni krov i zeleni zid. Pored karakteristika elemenata samog objekta, takođe su unijeti podaci o lokaciji (klimatski parametri za Banju Luku) i orijentacija objekta. Treća, finalna faza, obuhvatila je izradu simulacije potrošnje energije za grijanje za svaki od predloženih modela i njihovu komparativnu analizu pomoću „cloud“ softverske platforme Autodesk Green Building Studio. Simulacija je urađena za period od godinu dana i dobijeni rezultati prikazuju ukupnu potrošnju energije za grijanje na godišnjem nivou. Rezultati su prikazani tabelarno i pomoću dijagrama. Posmatran je takođe i ekološki aspekt u vidu smanjenja emisije CO<sub>2</sub> za predmetni objekat pri procesu grijanja, prije i nakon sprovedenih predloženih pasivnih mjera unapređenja omotača zgrade.

Zgrada pripada tipu velikih stambenih blokova, odnosno stambenih lamela i izgrađena je 60-ih godina prošlog vijeka. Sastoji se od suterena, prizemlja i 8 etaža. Stambena lamela ima izduženu pravougaonu osnovu i neprohodan ravan krov. Karakteriše je skeletni konstruktivni sistem. Konstrukcija je od prefabrikovanih armiranobetonskih stubova i greda sa armiranobetonskim platnima za ukrućenje. Spoljašnji zidovi su od prefabrikovanih panela od gas betona debljine 20 cm i od armiranobetonskih sendvič panela ukupne debljine 17 cm, jednostrano omalterisani. U lođama, fasadni zidovi su od termo blokova, šljako betonskih ili opekarskih, debljine 29 cm, obostrano omalterisani. Međuspratne konstrukcije su prednapregnute armiranbetonske kasetirane ploče. Na spoljašnjim zidovima postoji termička izolacija debljine 3 cm, a na krovu 5 cm. Prozori i balkonska vrata su dvostruka, drvena spojena krila koja imaju dva obična jednostruka stakla (Arnautović-Aksić et al., 2016).

Predložene mjere unapređenja omotača pratile su nivo energetske unapređenja prikazanog u Tipologiji stambenih zgrada BiH, a to je da su se vodili postavljanjem termičke izolacije debljine 10 cm sa  $\lambda=0,041$  W/mK za spoljašnje vertikalne zidove i međuspratnu konstrukciju iznad negrijanog podruma, dok je na ravnom krovu planirano energetske unapređenje termičke izolacije

20 cm sa  $\lambda=0,035$  W/mK i zamjenom postojećih prozora sa novim sa U-koeficijentom od 1,6 W/m<sup>2</sup>K (Arnautović-Aksić et al., 2016). Prije upotrebe pasivnih mjera obnove omotača, na svim varijantnim rješenjima urađena je energetska obnova elemenata omotača postojećeg objekta. Osnovni model zgrade dat je na Slici 2.



Slika 2. 3D model zgrade.  
Figure 2 3D model of the building.

Na prvom varijantnom rješenju urađen je ekstenzivan zeleni krov zajedno sa energetsom obnovom. Sastoji se od zaštitne protivkorjenske folije, hidroizolacione membrane i drenažnog sloja sa supstratom i vegetacijom debljine 15 cm. Upotrebene su sukulentne vrste biljaka (sedumi i mahovine) kojima nije potrebna dodatna njega nakon formiranja i same se obnavljaju. Struktura zelenog krova je urađena prema specifikaciji proizvođača prisutnog na teritoriji Bosne i Hercegovine (Tenzo, 2022). Ukupna površina zelenog krova iznosi  $\approx 500$  m<sup>2</sup>. Na drugom varijantnom rješenju izgrađen je sistem vertikalnog ozelenjavanja u vidu zelenog zida na južnoj fasadi zajedno sa energetsom obnovom. Za ovo istraživanje pretpostavljeno je da se u sistemu vertikalnog ozelenjavanja koriste sedumi i mahovine, kao vrste koje zahtijevaju najmanje njege i same se mogu održavati, što uveliko smanjuje i troškove instalacije. Odabran je modularni sistem živog zida sa biljkama posađenim u kutije (žardinjere) koji se pričvršćuje direktno na fasadu. Tipovi sistema vertikalnog ozelenjavanja i prednosti njihove upotrebe detaljno su opisani u naučnom radu (Čekić, Trkulja i Došenović, 2020). Ukupna površina zida predviđenog za ozelenjavanje iznosi  $\approx 350$  m<sup>2</sup>. Treće varijantno rješenje obuhvata kombinaciju prva dva, tj. prikazuje karakteristike objekta sa izgrađenim zelenim krovom i zelenim zidom uz energetska obnavu.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Prema podacima dobijenim pomoću Revit energetske analize, specifična godišnja potrebna energija za grijanje u predmetnom objektu u trenutnom stanju iznosi 167,50 kWh/m<sup>2</sup> na godišnjem nivou. Neto površina grijanog prostora iznosi 3.643,66 m<sup>2</sup>. Dakle, ukupna potrošnja energije za grijanje istraživanog objekta na godišnjem nivou iznosi 610.313,05 kWh. Nakon sprovođenja termičkih mjera unapređenja omotača, ukupna potrošnja energije na godišnjem nivou smanjena je na 49,54 kWh/m<sup>2</sup>, odnosno ukupno 180.506,92 kWh, što iznosi oko 70% ušteda.

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 (Eko Toplane, 2022). Prilikom proračuna potrošnje energije u novcu za ovo istraživanje uzeta je u obzir cijena po kWh/m<sup>2</sup> bez PDV-a koja iznosi 0,32 KM.

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 m<sup>2</sup>) 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 1 prikazane su potrošnja energije u kWh i u novcu na godišnjem nivou, kao i količina emisije CO<sub>2</sub> koja se emituje usljed upotrebe fosilnih goriva za potrebe grijanja objekta.

Tabela 1. Rezultati simulacije potrošnje energije i emisije CO<sub>2</sub> prema varijantnim rješenjima.  
 Table 1. Results of simulation of energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions according to variant solutions.

	<b>Potrošnja energije kWh/m<sup>2</sup>/god Energy Consumption kWh/m<sup>2</sup>/year</b>	<b>Ukupna potrošnja energije za objekat kWh/god Total energy consumption for the building kWh/year</b>	<b>Potrošnja energije u novcu KM/kW (bez PDV-a) Energy consumption in money BAM/kW (excluding VAT)</b>	<b>Emisija CO<sub>2</sub> t/god CO<sub>2</sub> emissions t/year</b>
Stanje/Current condition	167,50	610.313,05	195.300,18	49,06
Termička obnova Thermal renovation	49,54	180.506,92	57.762,21	14,51
Rješenje 1 (TO+ZK) Solution 1 (TR+GR)	40,62	148.005,47	47.361,75	11,90
Rješenje 2 (TO+SVO) Solution 2 (TR+VGS)	44,59	162.470,80	51.990,66	13,06
Rješenje3 (TO+ZK+SVO) Solution 3 (TR+GR+VGS)	35,67	129.969,35	41.590,19	10,45

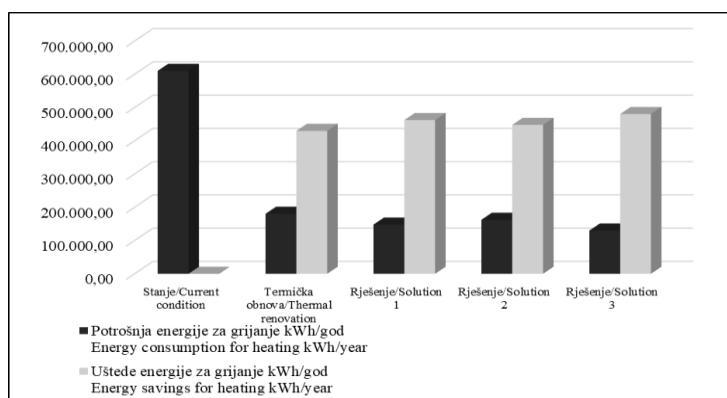
TR= Thermal renovation; GR=Green roof; VGS=Vertical greenery system.

Simulacija je pokazala da se u toku jedne godine najviše energije potroši za zgradu u drugom varijantnom rješenju (sa zelenim zidom), zatim u prvom (sa zelenim krovom), a najmanje u trećem (kombinacija zelenog krova i zelenog zida). U skladu s tim, najveći doprinos smanjenju potrošnje energije i emisije ugljen dioksida daje varijantno rješenje 3. Uštede energije u kWh na godišnjem nivou i u novcu prikazane su u Tabeli 2. Komparativna analiza rezultata prikazana je na dijagramima 1 i 2.

Tabela 2. Rezultati ušteta prema varijantnim rješenjima u odnosu na postojeće stanje.  
 Table 2 Results of savings according to variant solutions in relation to the current condition.

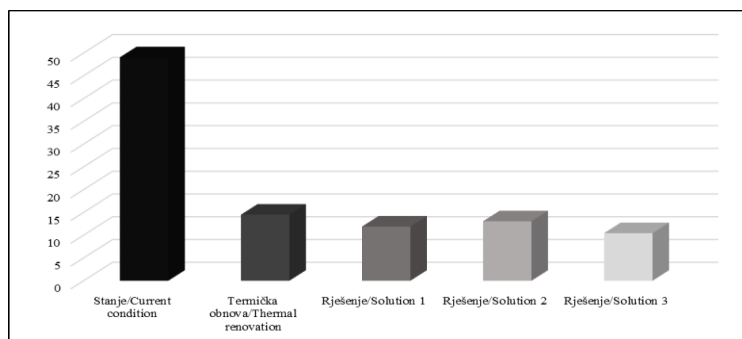
	<b>Uštede energije za grijanje kWh/god Energy savings for heating kWh/year</b>	<b>Smanjenje emisija CO<sub>2</sub> t/god Reduction of CO<sub>2</sub> emissions t/year</b>	<b>Ušteta u novcu KM/god (bez PDV-a) Money savings BAM/year (excluding VAT)</b>
Termička obnova Thermal renovation	429.806,13	34,55	137.537,97
Rješenje 1 (TO+ZK) Solution 1 (TR+GR)	462.307,58	37,16	147.938,43
Rješenje 2 (TO+SVO) Solution 2 (TR+VGS)	447.842,25	36,00	143.309,52
Rješenje3 (TO+ZK+SVO) Solution 3 (TR+GR+VGS)	480.343,70	38,61	153.709,99

TR= Thermal renovation; GR=Green roof; VGS=Vertical greenery system



Dijagram 1. Rezultati potrošnje i uštede energije (kWh/god) prema varijantnim rješenjima u odnosu na postojeće stanje.

Chart 1. Results of energy consumption and savings (kWh/year) according to variant solutions in relation to the current condition.



Dijagram 2. Godišnja emisija CO<sub>2</sub> (t/god) prema varijantnim rješenjima.

Chart 2. Annual CO<sub>2</sub> emissions (t/year) according to variant solutions.

Ukupne uštede energije za grijanje objekta prema varijantnom rješenju 3 iznose 50.537,57 kWh/god nakon termičke obnove, što je oko 28% na godišnjem nivou. Rezultati su pokazali da ekstenzivan zeleni krov sa energetsom obnovom zgrade (rješenje 1) može da utiče na uštede energije oko 75%, a zeleni zid sa energetsom obnovom (rješenje 2) oko 73%. Time je postignuto smanjenje emisije CO<sub>2</sub> u iznosu od 4,06 t/god, što zajedno sa smanjenjem nakon termičke obnove iznosi ukupno 38,61 t/god. U poređenju sa sličnim istraživanjima, dolazi se do zaključka da je sa energetsom i ekološkom aspekta, izgradnja pasivnih sistema obnove omotača zgrada isplativa i opravdana. U studiji koja je koristila kombinaciju dva simulacijska softvera, EnergyPlus i ENVI-met za procjenu toplinskih 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 (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).

Ekonomski aspekt izgradnje zelenih krovova i zidova na fasadama dat je kao komparativna analiza potrošnje energije u novcu u zgradama trenutno, zatim primjenom mjera termičkog unapređenja i nakon primjene pasivnih mjera. Prikazane su uštede energije u novcu na godišnjem nivou i period otplate investicije. Kako bi se opravdala kapitalna investicija u predložene mjere optimizacije omotača zgrada, potrebno je izračunati period povrata investicije, pri čemu se optimalnim smatra period do 8 godina. Pri ovoj analizi posmatrane su samo neposredne koristi,

odnosno ušteda energije za zagrijavanje objekata izražena u novcu. Proračun je dobijen dijeljenjem ukupne investicije sa ukupnom uštedom energije u novcu na godišnjem nivou za posmatrani objekat. Ukoliko bi se u obzir uzela i energija za hlađenje koja bi se takođe uštedila na godišnjem nivou termičkom optimizacijom i instalacijom zelenih zidova, investicija bi se vratila i za manji period od proračunatog. Ekonomski aspekt predloženih mjera unapređenja omotača dat je u Tabeli 3.

Tabela 3. Ekonomski aspekt obnove omotača zgrade (period povrata investicije).

Table 3. Economic aspect of building envelope renovation (payback period).

	<b>Potrošnja energije (kWh/god)</b> <b>Energy consumption (kWh/year)</b>	<b>Potrošnja energije (KM/god)</b> <b>Energy consumption (BAM/year)</b>	<b>Ušteda energije (kWh/god)</b> <b>Energy saving (kWh/year)</b>	<b>Ukupna ušteda na godišnjem nivou (KM)</b> <b>Total annual savings (BAM)</b>	<b>Kapitalna investicija (KM)</b> <b>Capital investment (BAM)</b>
Stanje Current condition	610.313,05	195.300,18	-	-	-
Termička obnova Thermal renovation	180.506,92	57.762,21	429.806,13	137.537,97	491.780,00
Termička obnova i pasivne mjere (rješenje 3) Thermal renovation and passive measures (solution 3)	129.969,35	41.590,19	50.537,57	16.172,02	355.000,00
<b>UKUPNO/TOTAL</b>			<b>480.343,70</b>	<b>153.709,98</b>	<b>846.780,00</b>

Ako se potrošnja energije u analiziranom objektu izrazi u novcu, na godišnjem nivou potrebno je 195.300,18 KM prema postojećem stanju. Nakon termičke obnove (rješenje 1), ova potrošnja se smanji na 57.762,21 KM, što je ukupno 70% uštede. Prema varijantnom rješenju 3, nakon izgradnje zelenog krova i zelenog zida, za grijanje objekta biće potrebno 41.590,19 KM na godišnjem nivou. Prema sličnim istraživanjima (Janković, Lukač, & Gvero, 2017), za termičku obnovu objekta potrebno je oko 134,00 KM po kvadratnom metru. Ukupna okvirna površina omotača zgrade iznosi 3.670,00 m<sup>2</sup>, dakle kapitalna investicija je 491.780,00 KM za primjenu termičkih mjera. Ako se tome doda cijena izgradnje zelenog krova (150,00 KM/m<sup>2</sup>) za površinu od 500 m<sup>2</sup> koja iznosi 75.000,00 KM i cijena postavljanja zelenog zida (800,00 KM/m<sup>2</sup>) koja za površinu od 350 m<sup>2</sup> iznosi 280.000,00 KM, dolazi se do ukupne kapitalne investicije od 846.780,00 KM. Uštede prema varijantnom rješenju 3 iznose 16.172,02 KM i zajedno sa uštedama nakon termičke obnove (137.537,97 KM) iznose 153.709,98 KM. Prema tome, investicija za varijantno rješenje 3 bi se isplatala za 5 i po godina.

## ZAKLJUČCI

U ovom radu analizirane su pasivne tehnike za optimizaciju omotača stambene zgrade koje obuhvataju izgradnju ekstenzivnog zelenog krova i sistema vertikalnog ozelenjavanja, u cilju povećanja energetske efikasnosti i ekoloških prednosti. Kako bi se smanjila potrošnja energije na godišnjem nivou, neophodno je uraditi termotehničku obnovu elemenata omotača zgrade, prije izgradnje zelenih sistema jer je analizirani objekat u postojećem stanju izuzetno energetski neefikasan. Kroz eksperimentalni dio rada, prikazana je softverska simulacija koja obuhvata tri varijantna rješenja na termički obnovljenom objektu: zeleni krov, zeleni zid i obje mjere zajedno. Rezultati su pokazali da se više energije može uštediti izgradnjom ekstenzivnog zelenog krova na energetski obnovljenoj zgradi, oko 75% na godišnjem nivou, u odnosu na uštede koje se postižu izgradnjom zelenog zida na energetski obnovljenoj zgradi koje iznose oko 73%. Najbolje rješenje

je treći scenario koji obuhvata primjenu obje predložene pasivne mjere – zeleni krov i zeleni zid na južnoj fasadi objekta. Pored energetske uštede, ove mjere utiču i na smanjenje emisije CO<sub>2</sub> koje na godišnjem nivou iznosi 38,61 t. Ekonomski aspekt implementacije pasivnih mjera pokazao je da se investicija isplati ukoliko se prethodno izvrši termička obnova omotača. Iako je najveće ograničenje vertikalnih zelenih sistema i zelenih krovova njihova cijena, pokazalo se da bi se ukupna početna investicija isplatila za manje od 6 godina, uz implementaciju termotehničkih mjera na objektu.

## 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., & Zagora, N. (2016). *Tipologija stambenih zgrada Bosne i Hercegovine*. Giz, Sarajevo.
- Asaee, S.R., Ugursal, V.I., & Beausoleil-Morrison, I. (2019). Development and analysis of strategies to facilitate the conversion of Canadian houses into net zero energy buildings. *Energy Policy*, 118-130.
- Blanco, I., Convertino, F., Schettini, E., & Vox, G. (2021). Energy analysis of a green façade in summer: an experimental test in Mediterranean climate conditions. *Energy & Buildings*, 245.
- Chel, A. & Kaushik, G. (2018). Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building. *Alexandria Engineering Journal* 57, 655–669.
- Čekić, S., Trkulja, T., i Došenović, Lj. (2020). Tipologija sustava vertikalnog ozelenjavanja. *Građevinar* 11/2020.
- Eko Toplane Banja Luka. (2022). Tarifni sistem. Preuzeto 03.04.2022. sa <https://ekotoplanebanjaluka.com/tarifni-sistem/>
- Emmanuel, R. (2015). Green infrastructure as an adaptation approach to tackle urban overheating in the Glasgow Clyde Valley Region. *Landscape and Urban Planning*, 138.
- Gedge, D., & Kadas, G. (2005). Green roofs and biodiversity. *Biologist* 52(3), 161–169.
- Hall, J.M., Handley, J.F., & Ennos, A.R. (2012). The potential of tree planting to climate-proof high density residential areas in Manchester, UK. *Landscape and Urban Planning*, 104, 410–417.
- Harkouss, F., Fardoun, F., & Biwole, P.H. (2018). Optimization approaches and climates investigations in NZEB: a review. *BUILD. SIMUL.* 11(5), 923-952.
- Huang, Z., Sun, Y., & Musso, F. (2019). Hygrothermal performance optimization on bamboo building envelope in Hot-Humid climate region. *Constr. Build. Mater.* 202, 223-245.
- Jaffal, I., Ouldboukhitine, S.E., & Belarbi, R. (2011). *A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance*. Renewable Energy, Elsevier.
- Janković, S., Lukač, M., & Gvero, P. (2017). Banjaluka kao pametni grad do 2040. - Model naselja Borik. *U zborniku sa Naučno-stručnog simpozijuma Energetska efikasnost – ENEF*, pp 179-184. Banja Luka, BIH.
- 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.
- Lee, K., Williams, K., Sargent, L., & Williams, N. (2015). 40-second green roof views sustain attention: The role of micro-breaks in attention restoration. *Journal of Environmental Psychology*, 42.
- Loveday, D.L., Parsons, K.C., Taki, A.H., & Hodder, S.G. (2002). Displacement ventilation environments with chilled ceilings: thermal comfort design within the context of the BS EN ISO7730 versus adaptive debate. *Energy Build.* 34 (6) 573–579.

- Maas, J., Verheij, R.A., Groenewegen, P.P., De Vries, S., & Spreeuwenberg, P. (2006). Green space, urbanity, and health: how strong is the relation? *J. Epidemiol. Community Health* 60(7), 587–592.
- MacIvor, J.S., & Lundholm, J. (2011). Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof conditions in a maritime climate. *Ecol. Eng.* 37(3).
- MacIvor, J.S., Margolis, L., Perottob, M., & Drake, J. (2016). Air temperature cooling by extensive green roofs in Toronto Canada. *Ecological Engineering* 95, 36–42.
- Morakinyo, T.E., Dahanayake, K.K.C., & Chow, C.L. (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.
- Pérez, G., Coma, J., Sol, S., & Cabeza, L. (2017). Green facade for energy savings in buildings: The influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect. *Applied Energy*, 187, 424–437.
- Poppendieck, D.G., Persily, A.K., & Hodgson, A.T. (2015). Long term air quality monitoring in a net-zero energy residence designed with low emitting interior products. *Build. Environ.* 94P1, 33–42.
- Raffetti, E., Treccani, M., & Donato, F. (2019). Cement plant emissions and health effects in the general population: a systematic review. *Chemosphere*, 211–222.
- Sadineni, S., Madala, S., & Boehm, R. (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 3617–3631.
- Shafique, M., Kim, R., & Rafiq, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 90, 757–773.
- Tenzo d.o.o. Banja Luka. (2022). Zeleni krovovi. Preuzeto 20.05.2022. godine sa <https://tenzo.ba/zeleni-krovovi/>
- Thuring, C.E., Berghage, R.D., & Beattie, D.J. (2010). Green roof plant responses to different substrate types and depths under various drought conditions. *Hort Technology* 20(2), 395–401.
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kazmierczak, A., & Niemela, J. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81, 167–178.
- Zografakis, N. (2000). Technologies for rational use and savings of energy in buildings. *Energy* 62, 112–114.
- Yannas, S. (1994). Solar Energy and Housing Design, Principles, Objectives. *Guidelines. 1, Architectural Association*, London.
- White, E.V., & Gatersleben, B. (2011). Greenery on residential buildings: does it affect preferences and perceptions of beauty? *J. Environ. Psychol.* 31(1), 89–98.

## **USING GREEN SYSTEMS AS PASSIVE MEASURES FOR ENERGY OPTIMIZATION OF BUILDING ENVELOPES**

Milana Radujković<sup>1</sup>, Darija Gajić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>University of Banja Luka, Faculty of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Bulevar vojvode Stepe Stepanovića 77/3, 78000 Banja Luka, Bosnia and Herzegovina

### **ABSTRACT**

Previous research and statistical data have shown that buildings in Europe consume about 40% of total energy, and most of it is spent on heating. Due to the use of fossil fuels, many harmful gases are emitted into the atmosphere, especially greenhouse gases. Therefore, the study of new technologies and solutions in the field of construction of housing and other facilities is a priority task that is inevitably set before experts in this field. In addition to the need to optimize the envelope of buildings to reduce energy consumption, there is also a need to preserve the environment, in terms of reducing emissions, preventing the formation of heat islands and air purification. For these purposes, specific green systems are used, in the form of vertical greenery systems (green walls and facades), as well as green roofs. The biggest role in achieving the energy efficiency of a building is its envelope. This paper deals with the study of innovative technologies for materialization of building envelopes that contribute not only to the achievement of energy optimization, but also to environmental protection. Because of this concept of urban development and design, the possibility of reducing the consumption of fossil fuels has been analyzed, which would greatly reduce the negative effects of climate change, as one of the aspects of achieving sustainable cities and communities.

**Keywords:** Vertical greenery system, green roof, building envelope, energy efficiency, passive techniques.