

# Upotreba zelenih struktura modularnog tipa pri obnovi stambenih zgrada

## Simulacija studije slučaja na području grada Banja Luka

Milana Radujković<sup>1</sup>, Darija Gajić<sup>2</sup>, Budimir Sudimac<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska

<sup>2</sup>Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska

<sup>3</sup>Univerzitet u Beogradu, Arhitektonski fakultet, Beograd, Republika Srbija

[milana.radujkovic@student.mf.unibl.org](mailto:milana.radujkovic@student.mf.unibl.org), [darija.gajic@aggf.unibl.org](mailto:darija.gajic@aggf.unibl.org), [sudimac@arh.bg.ac.rs](mailto:sudimac@arh.bg.ac.rs)

**Sažetak**— Rad se bazira na istraživanju i kvantifikaciji benefita pasivnih sistema optimizacije omotača stambenih zgrada u vidu modularnih zelenih struktura, na krovu i na fasadi. Istraživanje je pokazalo da je implementacijom vertikalnih i krovnih zelenih sistema pri obnovi omotača stambenih zgrada moguće postići uštede energije za zagrijavanje i hlađenje, u lokalnim klimatskim uslovima. Samim tim, postižu se i ekonomske uštede, kao i smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte. Predloženim rješenjem modularnog tipa zelenih struktura, uticalo bi se na jednostavnost i brzinu implementacije, a pozitivni efekti bili bi značajno uvećani, kada se radi o klimatskim uslovima na području grada Banja Luka.

**Ključne riječi**— pasivni sistemi; održivi modul; zeleni elementi; omotač zgrade; ušteda energije; otporno hlađenje

### I. UVOD

Otporna obnova stambenih zgrada upotrebom zelenih krovova i zelenih zidova je inovativan pristup obnovi i adaptaciji postojećih stambenih objekata s ciljem povećanja njihove otpornosti na klimatske promjene, poboljšanja energetske efikasnosti i unapređenja urbanog okruženja. Ovaj pristup može doprinijeti održivosti gradova, smanjenju zagađenja, poboljšanju mikroklimе, kao i smanjenju uticaja poplava u gusto izgrađenim urbanim područjima [1,2]. Primjena zelenih struktura je ključna u otpornim obnovama stambenih zgrada, jer one mogu pomoći u borbi protiv brojnih izazova izazvanih klimatskim promjenama, kao što su: povećanje temperature u gradovima, ekstremni vremenski uslovi (poplave i suše) i smanjen udio zelenih površina u ograničenim prostorima urbanih sredina. Istraživanje je bazirano na upotrebi inovativnih tehnologija materijalizacije omotača zgrada koje doprinose postizanju energetske optimizacije [3,4].

Prema zahtjevima za unapređenjem omotača zgrade koji su definisani Pravilnikom o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada u Republici Srpskoj, moguće je smanjiti energiju za grijanje u stambenim zgradama do 60%. Istraživanje stambenih zgrada izgrađenih u periodu od 1971-1980. godine, pokazuje da implementacija troškovno optimalnih mjera sa zahtjevnijim koeficijentima prolaza toplote za netransparentne dijelove omotača zgrade i manje zahtjevnim za prozore, od standardnih mjera u Bosni i

Hercegovini, može dovesti do ušteda od 948.107,00 MWh/a. Studija slučaja u ovom istraživanju pokazala je da je moguće smanjiti potrebnu energiju za grijanje ispod 40 kWh/m<sup>2</sup> [5].

Prema najnovijim strateškim dokumentima Evropske unije u oblasti energetske efikasnosti, najviše značaja pridaje se „dubokoj“ obnovi zgrada sa uštedom energije od oko 60%, što podrazumijeva obnovu cijelog omotača zgrade. Tu je takođe jedan od ključnih principa upotreba organskih građevinskih materijala. Primjenom modularnih sistema u organskim materijalima koji su troškovno optimalni, mogla bi se uveliko unaprijediti obnova zgrada prema nZEB standardima [6].

Cilj istraživanja jeste da se utvrde pozitivni uticaji koje je moguće kvantifikovati nakon upotrebe pasivnih sistema u vidu zelenih elemenata na omotačima postojećih zgrada i na osnovu toga da se predloži optimalan modul zelenih elemenata za buduću obnovu stambenih zgrada u klimatskom području grada Banja Luka.

Rezultati su pokazali da zelene strukture imaju sposobnost da utiču na smanjenje potrošnje energije u objektu, kako za grijanje, tako i za hlađenje. Ovi rezultati odražavaju toplotni doprinos zelenih struktura i sprječavanje pregrijavanja i pokazuju kako primjena zelenih struktura može doprinijeti smanjenju rashladnog opterećenja i posljedično smanjenju potrošnje energije za hlađenje u zgradama, što je softverska simulacija potvrdila.

### II. METODOLOGIJA

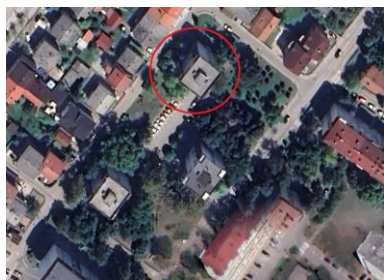
#### A. Odabir i analiza referentnog stambenog objekta

Referentni stambeni objekat na području grada Banja Luka (Slika 1.) odabran je prema odgovarajućim kriterijumima koji su podrazumijevali sljedeće:

1. Orijentacija netransparentne fasade na koju je moguće primijeniti zeleni zid treba da bude južna-jugozapadna (tada su efekti najveći usljed najintenzivnijeg Sunčevog zračenja na istraživanom području).

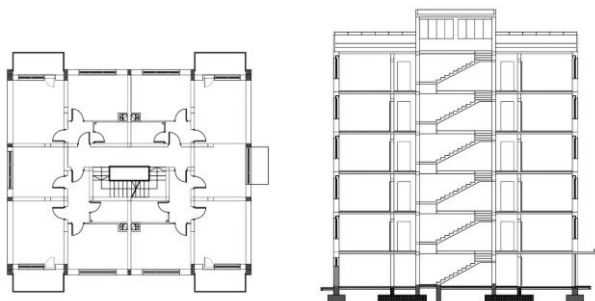
2. Fasada na koju će biti primijenjena zelena struktura ne smije da bude zaklonjena drugim objektima (visokim zgradama ili rastinjem koje pravi sjenu i/ili onemogućava pravilnu instalaciju zelenih struktura).

3. Krov zgrade treba da bude ravan i pristupačan, kako bi bila omogućena primjena zelenih struktura horizontalno.



Sl. 1. Lokacija i položaj referentnog stambenog objekta na području grada Banja Luka (prema Google satelitskoj podlozi)

Zgrada je kompaktne kvadratne osnove s ravnim prohodnim krovom, izgrađena 1971. godine i sastoji se od 6 etaža i 20 stanova. Bruto površina osnove zgrade iznosi  $239,65 \text{ m}^2$  (Slika 2.), te kako je prizemlje negrijani prostor, ukupna neto površina grijanog prostora iznosi  $862,00 \text{ m}^2$ , a zapremina  $2241,00 \text{ m}^3$ . Specifična godišnja potrebna energija za grijanje sa prekidom u grijanju iznosi  $146,79 \text{ kWh/m}^2$  [7]. Zgrada je klasične gradnje, masivnog konstruktivnog sistema sa ravnim prohodnim krovom (Slika 3.).



Sl. 2. Osnova i vertikalni presjek modela referentnog stambenog objekta



Sl. 3. 3D model referentnog stambenog objekta

Konstruktivni zidovi su debljine  $25 \text{ cm}$  i u oba pravca od ošupljene opeke, sa vertikalnim i horizontalnim AB serklažima. Spoljašnji zidovi su debljine  $38 \text{ cm}$  i obostrano omalterisani, dok su međuspratne konstrukcije pune AB ploče. Zidovi nisu termoizolovani, za razliku od krova na kome se nalazi termoizolacija debljine  $3 \text{ cm}$ . Balkonska vrata i prozori su dvostruka drvena spojena krila sa dva obična jednostruka

stakla i imaju unutrašnju platnenu roletnu. Negrijani prostori su stepeništa i podrumski prostori koji su u prizemlju [7]. Termičke karakteristike elemenata omotača zgrade prema postojećem stanju (Tabela I) ukazuju na gradnju perioda nakon 1967. godine, kada se na predmetnom području pojavljuje prvi Pravilnik o minimalnim tehničkim uslovima za izgradnju stanova [8] koji propisuje samo U-koeficijente za spoljašnji zid i krov iznad grijanog prostora, dok predloženo unapređenje (Tabela II) predstavlja obnovu omotača zgrade prema važećem Pravilniku o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada [9]. Naravno, Pravilnik ukazuje ako se dodavanjem slojeva termičke izolacije ugrožava svijetla visina ili širina prostora, onda se ti elementi omotača ne unapređuju, što vidimo kod ove zgrade da je to zid prema negrijanom stepenišnom prostoru.

Nakon primjene predloženih mjera "duboke" termičke obnove omotača, ušteda potrebne energije za grijanje iznosila bi oko 67% na godišnjem nivou. Specifična godišnja potrebna energija za grijanje sa prekidom u grijanju bi se smanjila sa  $146,79 \text{ kWh/m}^2$  na  $48,44 \text{ kWh/m}^2$ .

TABELA I. TERMIČKE KARAKTERISTIKE ELEMENATA OMOTAČA ZGRADE – POSTOJEĆE STANJE

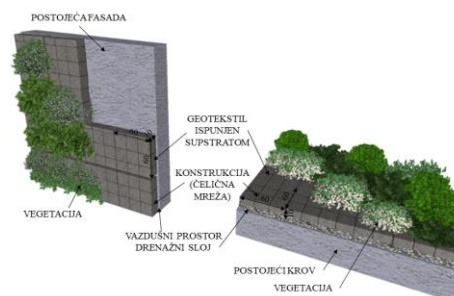
| Vrsta elementa                                    | Materijalizacija                                                                                                                      | U-koeficijent ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ) |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Spoljašnji zid 1                                  | malter 2 cm, puna opeka 38 cm, malter 3 cm                                                                                            | 1,04                                     |
| Spoljašnji zid 2                                  | malter 2 cm, AB zid 38 cm, malter 1,5 cm                                                                                              | 2,54                                     |
| Zid prema negrijanom stubištu                     | malter 2 cm, puna opeka 25 cm, malter 2 cm                                                                                            | 1,27                                     |
| Prozori                                           | Drveni, dvostruki sa spojenim krilima i jednostrukim staklom                                                                          | 2,92                                     |
| Međuspratna konstrukcija iznad negrijanog podruma | parket 2 cm, cementni estrih 2,5 cm, natron papir, termoizolacija 3 cm, AB konstrukcija 12 cm, malter 1 cm                            | 0,75                                     |
| Ravan krov                                        | kulir ploče 4 cm, pijesak 3 cm, hidroizolacija, beton 9 cm, krovna ljepjenka, termoizolacija 3 cm, AB konstrukcija 12 cm, malter 1 cm | 0,91                                     |

**TABELA II. TERMIČKE KARAKTERISTIKE ELEMENATA OMOTAČA ZGRADE – SA PREDLOŽENIM MJERAMA UNAPREĐENJA ZA DUBOKU OBNOVU (PREMA PREPORUKAMA PRAVILNIKA O MINIMALNIM ZAHTJEVIMA ZA ENERGETSKE KARAKTERISTIKE ZGRADA)**

| Vrsta elementa                                    | Materijalizacija                                                                                                                                                       | U-koeficijent (W/m²K) |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Spoljašnji zid 1                                  | malter 2 cm, puna opeka 38 cm, malter 3 cm, termoizolacija 12 cm, fasadni malter 1 cm                                                                                  | 0,29                  |
| Spoljašnji zid 2                                  | malter 2 cm, AB zid 38 cm, malter 1,5 cm, termoizolacija 12 cm, fasadni malter 1 cm                                                                                    | 0,35                  |
| Zid prema negrijanom stubištu                     | malter 2 cm, puna opeka 25 cm, malter 2 cm                                                                                                                             | 1,27                  |
| Prozori                                           | Drveni, dvostruki sa spojenim krilima i dvostrukim staklom                                                                                                             | 1,60                  |
| Međuspratna konstrukcija iznad negrijanog podruma | parket 2 cm, cementni estrih 2,5 cm, natron papir, termoizolacija 3 cm, AB konstrukcija 12 cm, malter 1 cm, termoizolacija 12 cm, fasadni malter 1 cm                  | 0,26                  |
| Ravan krov                                        | kulir ploče 4 cm, pijesak 3 cm, PE folija, termoizolacija 20 cm, hidroizolacija, beton 9 cm, krovna ljepjenka, termoizolacija 3 cm, AB konstrukcija 12 cm, malter 1 cm | 0,15                  |

**TABELA III. SPECIFIKACIJA MODULA 1 (PREMA SPECIFIKACIJAMA PROIZVOĐAČA I SOFTVERSKOM MODELU)**

|            | Parametar                                                          | Vrijednost                |
|------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Supstrat   | Debljina                                                           | 0,1 m                     |
|            | Gustina                                                            | 710,00 kg/m³              |
|            | Toplotna provodljivost                                             | 1,65 W/(mK)               |
|            | Specifična toplota                                                 | 1.225,00 J/(kgK)          |
| Vegetacija | Visina biljaka                                                     | 0,25 m                    |
|            | LAI (indeks lisne površine)                                        | 5,0 (ljetno), 2,0 (zimno) |
|            | Koeficijent emisije lisne površine                                 | 0,95                      |
|            | Koeficijent refleksije lisne površine                              | 0,22                      |
|            | Specifična toplota                                                 | 2.232,00 J/(kgK)          |
|            | Toplotna provodljivost                                             | 0,35 W/(mK)               |
|            | Minimum Stomatal Resistance (otpornost biljaka na transport vlage) | 200,00 s/m                |



### B. Odabir i analiza primijenjenih zelenih modula

Referentni stambeni objekat odabran je prema odgovarajućim kriterijumima, tako da je moguća primjena zelenih modula na dva načina: vertikalno na fasadi i horizontalno na ravnom krovu, pri čemu je potrebno naglasiti da su neophodna određena prilagođavanja u zavisnosti od konkretnog slučaja.

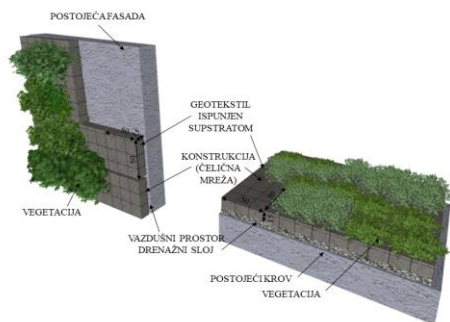
Odabrana su dva tipa zelenih modularnih struktura. Debljina supstrata Modula 1 (Tabela III i Slika 4.) je 10 cm, visina i širina su po 60 cm, a vegetacioni sloj je visine do 25 cm i sadrži sljedeće vrste: ukrasnu travu (*Carex morrowii*), močvarni ljiljan (*Acorus gramineus*), mazus (*Mazus reptans*), puzavu ivicu (*Ajuga reptans*), čupavu travu (*Deschampsia cespitosa*), grebić (*Geum rivale*), hojheru (*Heuchera hybrid*), hotiniju (*Houttuynia cordata*), zvončić (*Campanula posharskyana*), geranijum (*Geranium wlassovianum*) i hemerokalis (*Hemerocallis hybrid*).

Sl. 4. 3D model Modula 1

Drugi modul ima debljinu supstrata od 15 cm i biljke koje podnose ekstremnije uslove i zahtijevaju manje održavanja (sedumi, mahovine, niske trave i trajnice). U skladu s tim, izmijenjene su vrijednosti odgovarajućih parametara Modula 2 na softverskom modelu (Tabela IV i Slika 5.). Takođe, visina i širina modula 2 su promijenjene i iznose 50 cm x 50 cm. Ergonomski dizajn modula omogućava da jedna osoba može da vrši ugradnju, tako da je proces pojednostavljen i ubrzan (4 modula čine površinu od 1 m²).

**TABELA IV. SPECIFIKACIJA MODULA 2 (PREMA SOFTVERSKOM MODELU)**

|            | <i>Parametar</i>                                                   | <i>Vrijednost</i>        |
|------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Supstrat   | Debljina                                                           | 0,15 m                   |
|            | Gustina                                                            | 710,00 kg/m <sup>3</sup> |
|            | Toplotna provodljivost                                             | 1,05 W/(mK)              |
|            | Specifična toplota                                                 | 1.500,00 J/(kgK)         |
| Vegetacija | Visina biljaka                                                     | 0,10 m                   |
|            | LAI (indeks lisne površine)                                        | 3,0 (ljetno), 3,0 (zima) |
|            | Koeficijent emisije lisne površine                                 | 0,8                      |
|            | Koeficijent refleksije lisne površine                              | 0,15                     |
|            | Specifična toplota                                                 | 2.500,00 J/(kgK)         |
|            | Toplotna provodljivost                                             | 0,55 W/(mK)              |
|            | Minimum Stomatal Resistance (otpornost biljaka na transport vlage) | 100,00 s/m               |



Sl. 5. 3D model Modula 2

Prilikom softverskog modelovanja zelenih struktura, neophodno je voditi računa o načinu navodnjavanja supstrata. U skladu sa odabranim modulima i načinom njihove primjene, različito su postavljeni parametri za navodnjavanje. Kod Modula 1 koji sadrži biljke kojima je neophodno stalno navodnjavanje, odabran je „Smart“ sistem koji podrazumijeva da se navodnjavanje vrši po utvrđenom planu, ali da bude isključeno kada je supstrat 30% ili više zasićen vodom. Sa druge strane, kod Modula 2 koji sadrži biljne vrste otporne na sušu i pojačanu insolaciju, odabrano je tzv. prirodno navodnjavanje, odnosno navodnjavanje od padavina na lokaciji (definirano prema podacima lokalne mikroklimе, na nivou jednog sata).

### C. Proces softverske simulacije

Kako bi se analizirala potrošnja energije u referentnom stambenom objektu, korišten je *DesignBuilder* softver koji koristi *EnergyPlus* simulacione metode i omogućava

modelovanje fizike zgrade, sistema grijanja i hlađenja, osvjetljenja i simulaciju potrošnje toplotne i električne energije i unutrašnje temperature vazduha. U skladu sa funkcijama koje softver nudi, omogućeno je kreiranje zelenih struktura (zidova i krovova), kao spoljašnjih elemenata omotača zgrade, uz adekvatna prilagođavanja određenih parametara.

Za potrebe ovog istraživanja, u skladu sa raspoloživim podacima, izvršena je simulacija za potrošnju energije za grijanje tokom zimskog perioda i hlađenje tokom ljetnog perioda, za termički obnovljenu zgradu bez zelene strukture i za zgradu nakon primjene predloženih zelenih struktura (Slika 6). Nakon simulacije izvršena je komparativna analiza dobijenih rezultata i prikazane su prednosti primjene ovih struktura sa energetskeg aspekta.

Ukupno su postavljena 4 scenarija simulacije, odnosno predložena su 2 varijantna rješenja modularnih zelenih struktura za omotač referentne stambene zgrade:

1. Zgrada u postojećem stanju bez zelenih struktura,
2. Zgrada nakon termičke obnove bez zelenih struktura,
3. Zgrada sa primijenjenim Modulom 1 na ravnom krovu (Modul 1\_H) i
4. Zgrada sa primijenjenim Modulom 2 na jugozapadnoj fasadi (Modul 2\_V).



Sl. 6. 3D modeli zgrade prema varijantnim rješenjima

## III. REZULTATI SIMULACIJE

### A. Potrošnja energije za grijanje

Prema podacima datim u Tipologiji stambenih zgrada Bosne i Hercegovine [7], specifična godišnja potrebna energija za grijanje u istraživanom objektu iznosi 146,79 kWh/m<sup>2</sup> na godišnjem nivou, sa prekidom u grijanju. Neto površina grijanog prostora iznosi 862,00 m<sup>2</sup>. Dakle, ukupna potrošnja energije za grijanje istraživanog objekta na godišnjem nivou iznosi 126.532,98 kWh.

Primjenom predloženih mjera duboke termičke obnove (prema Tabeli II), specifična godišnja potrebna energija za grijanje bi se smanjila na 48,44 kWh/m<sup>2</sup>, a ukupna godišnja

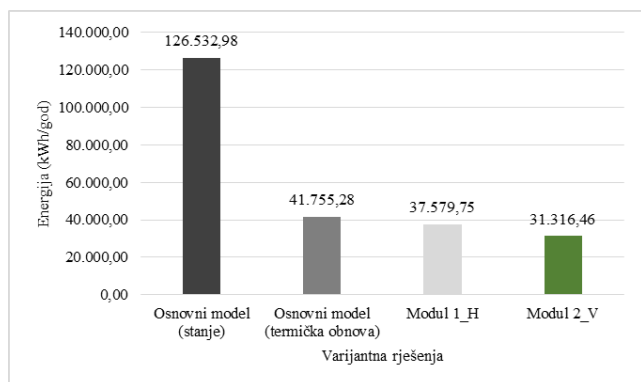
potrošnja energije za grijanje bi bila smanjena na 41.755,28 kWh.

Kao posljedica izolacionog efekta, sprječavanja hlađenja i povećanja unutrašnje temperature vazduha zimi, primjetne su i značajne uštede u potrošnji energije za grijanje zgrade primjenom zelenih struktura. Proces simulacije je pokazao da se potrošnja energije u stambenoj zgradi može smanjiti za grijanje, ako se na omotaču primijene predložene modularne zelene strukture. Uštede u potrošnji energije za grijanje su najznačajnije u zgradi sa vertikalnom zelenom strukturom debljine 15 cm i one iznose 25%.

Zimi, tokom sezone grijanja, zelene strukture djeluju kao vrsta izolatora za prenos toplote i uštede energije. Smanjenjem potrošnje energije za grijanje za 25% u zimskom periodu, zeleni zid (Modul 2\_V) bi mogao biti dobar alat za poboljšanje energetske performansi zgrade (Tabela V). Takođe, primjena modularnih zelenih struktura na ravnom krovu dovodi do smanjenja energije potrebne za grijanje u iznosu od 10%. Slika 7 prikazuje potrošnju energije za grijanje zgrade bez zelenih struktura i sa primijenjenim zelenim strukturama, prema varijantnim rješenjima.

**TABELA V. REZULTATI SIMULACIJE POTROŠNJE ENERGIJE ZA GRIJANJE PREMA VARIJANTNIM RJEŠENJIMA**

|                                 | <i>Specifična potrošnja energije za grijanje kWh/m<sup>2</sup>god</i> | <i>Ukupna potrošnja energije za grijanje kWh/god</i> |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Osnovni model (stanje)          | 146,79                                                                | 126.532,98                                           |
| Osnovni model (termička obnova) | 48,44                                                                 | 41.755,28                                            |
| Modul 1_H                       | 43,60                                                                 | 37.579,75                                            |
| Modul 2_V                       | 36,33                                                                 | 31.316,46                                            |



Sl. 7. Grafički prikaz potrošnje energije za grijanje zgrade (kWh)

### B. Potrošnja energije za hlađenje

Ljeti su primjetne značajne uštede energije za hlađenje zbog smanjenog dobitka Sunčevog zračenja zahvaljujući efektima vegetacije zelenih struktura koje su integrisane u

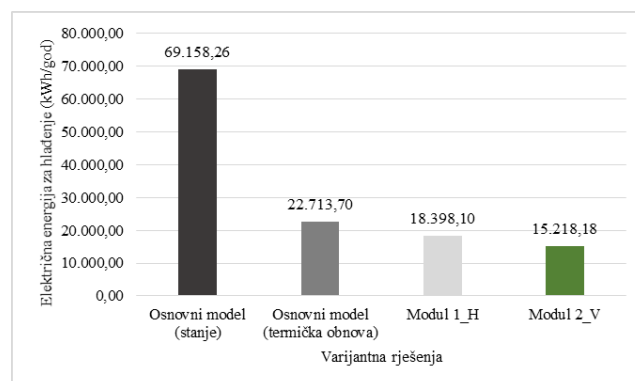
omotač zgrade. Efikasnost zelenih struktura u smanjenju potrošnje energije direktno je povezana sa rashladnim efektima biljaka na fasadu ili krov. Glavna prednost vegetacije tokom dana u sezoni rashlađivanja je značajna ušteda energije zbog smanjenog Sunčevog zračenja od zasjene koju vegetacija pruža, kao i smanjenje temperature u neposrednoj blizini omotača, usljed procesa evapotranspiracije. Zelene strukture koje pokrivaju postojeće netransparentne elemente omotača zgrade povećavaju toplotnu otpornost postojećih struktura i smanjuju prenos toplote kroz zid i krov (utiču na smanjenje U-koeficijenta).

Simulacija potrošnje električne energije za hlađenje zgrade urađena je za četiri mjeseca, od maja do septembra. Simulacija je pokazala da najviše efekta u smanjenju potrošnje električne energije tokom ljetnog perioda imaju zelene strukture postavljene vertikalno na jugozapadnu fasadu, odnosno varijantno rješenje označeno kao Modul 2\_V. Ukupne uštede iznose 33%. Manji efekti su postignuti sa varijantnim rješenjem označenim kao Modul 1\_H, i to 19% ušteda električne energije za hlađenje zgrade.

Korišćenje zelenih struktura može donijeti uštedu energije u hlađenju zgrade i do 33% (Tabela VI i Slika 8.). To znači da zelene strukture poboljšavaju udobnost u zatvorenom prostoru, čine ambijent prijatnijim i smanjuju emisiju gasova staklene bašte. Posljedično, pozitivni uticaji se ogledaju i kroz sprječavanje naprezanja građevinskih materijala, usljed manjih temperaturnih kolebanja, što produžava njihov životni vijek.

**TABELA VI. REZULTATI SIMULACIJE POTROŠNJE ENERGIJE ZA HLAĐENJE PREMA VARIJANTNIM RJEŠENJIMA**

|                                 | <i>Specifična potrošnja energije za grijanje kWh/m<sup>2</sup>god</i> | <i>Ukupna potrošnja energije za grijanje kWh/god</i> |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Osnovni model (stanje)          | 80,23                                                                 | 69.158,26                                            |
| Osnovni model (termička obnova) | 26,35                                                                 | 22.713,70                                            |
| Modul 1_H                       | 21,34                                                                 | 18.398,10                                            |
| Modul 2_V                       | 17,65                                                                 | 15.218,18                                            |



Sl. 8. Grafički prikaz potrošnje energije za hlađenje zgrade (kWh)

Rezultati ovog istraživanja mogu biti primijenjeni u fazi planiranja i projektovanja zelenih struktura, u cilju energetske obnove omotača stambenih zgrada, ne samo u klimatskom

području grada Banja Luka, nego i na svim zgradama sjeverne klimatske zone Republike Srpske, a s tim i Bosne i Hercegovine. Takođe, uz adekvatnu tehničku dokumentaciju i procjenu stanja objekata, predložene modularne strukture mogu biti primijenjene i na javnim zgradama, poslovnim objektima i slično.

#### IV. ZAKLJUČAK

Rezultati simulacije na referentnom objektu u lokalnim klimatskim uslovima grada Banja Luka pokazali su da najveće efekte u optimizaciji omotača zgrade ima predloženi modul 2\_V debljine 15 cm sa biljnim materijalom otpornim na različite vremenske uslove, koji može biti primijenjen vertikalno na fasadi ili horizontalno na ravnom krovu. Rezultati simulacije su pokazali da najviše efekta u smanjenju potrošnje električne energije tokom ljetnog perioda imaju zelene strukture postavljene vertikalno na jugozapadnu fasadu, odnosno varijantno rješenje označeno kao Modul 2\_V. Ukupne uštede iznose 33%.

Pored svih navedenih prednosti, upotreba zelenih struktura može i negativno da utiče na sam omotač na kome je primijenjena. Ukoliko se pripremni radovi ne urade na adekvatan način, od procjene dodatnog opterećenja zelenih sistema i stanja postojeće konstrukcije, do pravilne ugradnje i održavanja, zelene strukture mogu imati više štete nego koristi. Stoga, neophodno je uspostaviti mehanizme i mjere za pravilno planiranje, projektovanje, ugradnju i održavanje zelenih struktura. S obzirom na to da je Banja Luka seizmički aktivno područje, veoma je važno pri implementaciji predmetnih modularnih struktura detaljno procijeniti dodatno opterećenje, naročito na krovnim konstrukcijama gdje se mogu zadržavati voda i snijeg, kako bi se spriječila potencijalna strukturna oštećenja u najnepovoljnijim kombinacijama opterećenja.

Zeleni krovovi i zidovi predstavljaju ekološki održive i efikasne metode za jačanje otpornosti stambenih zgrada. Ove tehnologije ne samo da pomažu u borbi protiv klimatskih promjena, već i pružaju brojne prednosti u pogledu energetske efikasnosti, smanjenja zagađenja i unapređenja ukupnog kvaliteta života u urbanim sredinama. S obzirom na njihove brojne prednosti, preporučuje se njihov širi razvoj i integracija u buduće planove obnove postojećih i izgradnje novih stambenih zgrada.

#### LITERATURA

- [1] 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.

- [2] Bass B., Baskaran B. (2001). Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas, Institute for Research and Construction, NRCC-46737, Project number A020, CCAF Report B1046, Ottawa, Canada, National Research Council;
- [3] Avgan G. & Ashrafian T. (2022). Bioclimatic Design and Advanced Strategies' Impacts on Energy Performance of Residential Buildings, *Clima 2022*
- [4] Badrulzaman J., Ismail S., Mohd Hisyam R. (2011). Evaluating the Impact of Vertical Greenery System on Cooling Effect on High Rise Buildings and Surroundings: A Review, DOI: <http://dx.doi.org/10.21776/ub.ruas.2011.009.02.1>
- [5] Gajić D., Sudimac B., Rajčić A., Peulić S., Rašović J. (2023). Energy savings potential in modular envelope renovations of prefabricated residential buildings in Bosnia-Herzegovina and Serbia, *Places and Technologies 2023*, pp 407–415, doi: [https://doi.org/10.18485/arh\\_pt.2024.8.ch49](https://doi.org/10.18485/arh_pt.2024.8.ch49)
- [6] Sudimac B., Gajić D., Peulić S. (2022). Energy renovation of residential building envelope using organic materials for the level of cost optimal improvement/upgrade in Bosnia-Herzegovina and Serbia, *STEPGRAD 2022 Conference proceedings*, pp. 380–392.
- [7] 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;
- [8] Правилник о минималним техничким условима за изградњу станова, Службени лист СФРЈ бр. 45 из 1967. године
- [9] Министарство за просторно уређење, грађевинарство и екологију Републике Српске. Правилник о минималним захтјевима за енергетске карактеристике зграда ("Службени гласник Републике Српске", број: 30/15) [https://ekofondrs.org/sadrzaj/dokumenti/ee/Pravilnik\\_o\\_minimalnim\\_zah\\_tjevima\\_z\\_a\\_energetske\\_karakteristike\\_zgrada.pdf](https://ekofondrs.org/sadrzaj/dokumenti/ee/Pravilnik_o_minimalnim_zah_tjevima_z_a_energetske_karakteristike_zgrada.pdf)

#### ABSTRACT

This research is based on the quantification of the benefits of passive systems for optimizing the envelope of residential buildings in the form of modular green structures, on the roof and on the facade. The research showed that by implementing vertical and roof green systems during the renovation of the envelope of residential buildings, it is possible to achieve energy savings for heating and cooling, in local climatic conditions. Thus, economic savings are achieved, as well as a reduction in greenhouse gas emissions. The proposed modular type of green structures would affect the simplicity and speed of implementation, and the positive effects would be significantly increased, when it comes to the climatic conditions in the area of the city of Banja Luka.

#### THE USE OF MODULAR GREEN STRUCTURES FOR RENOVATION OF RESIDENTIAL BUILDINGS

Simulation of a case study in the area of the city of Banja Luka

Milana Radujković, Darija Gajić, Budimir Sudimac