

Primljen / Received: 1.10.2021.

Ispravljen / Corrected: 21.3.2022.

Prihvaćen / Accepted: 30.6.2022.

Dostupno online / Available online: 10.8.2022.

# Sustav vertikalnog ozelenjavanja - model za poboljšanje energetske učinkovitosti zgrada

## Autori:



Izv.prof.dr.sc. **Tanja Trkulja**, dipl.ing.arh.  
Sveučilište u Banjoj Luci, Bosna i Hercegovina  
Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet  
[tanja.trkulja@aggf.unibl.org](mailto:tanja.trkulja@aggf.unibl.org)

Autor za korespondenciju



Mr.sc. **Milana Radujković**, dipl.ing.arh.  
Sveučilište u Banjoj Luci, Bosna i Hercegovina  
Strojarski fakultet  
[milana.radujkovic@student.mf.unibl.org](mailto:milana.radujkovic@student.mf.unibl.org)



Prof.dr.sc. **Marina Nikolić-Topalović**, dipl.ing.arh.  
Akademija tehničko umjetničkih strukovnih  
studija Beograd, Srbija  
Građevinsko-geodetski odsjek  
[mntopalovic@vggs.rs](mailto:mntopalovic@vggs.rs)

Prethodno priopćenje

**Tanja Trkulja, Milana Radujković, Marina Nikolić-Topalović**

## Sustav vertikalnog ozelenjavanja - model za poboljšanje energetske učinkovitosti zgrada

Prilagodba klimatskim promjenama u gradovima je bitna, a sustavi vertikalnog ozelenjavanja (SVO) primjenjuju se kao sredstvo za obnavljanje ekološkog integriteta urbanih područja. Ovaj rad predstavlja klasifikaciju, tipologiju i prednosti SVO-a za energetske performanse zgrada. Kroz eksperimentalni dio rada simulirana je uporaba SVO-a na fasadama stambenih zgrada, u urbanom području grada Banja Luka, a za analizu utjecaja energije i okoliša. Rezultati istraživanja pokazali su da SVO smanjuje temperaturu zida i zraka u zgradama i oko njih, kao i emisiju CO<sub>2</sub> u zrak.

### Ključne riječi:

sustav vertikalnog ozelenjavanja (SVO), kvaliteta urbanog okoliša, energetska učinkovitost zgrade, održivo planiranje

Research Paper

**Tanja Trkulja, Milana Radujković, Marina Nikolić-Topalović**

## Vertical greenery system: a model for improving energy efficiency of buildings

Adaptation to climate change in cities is essential, and vertical greenery systems (VGSs) are used as a means of restoring the urban areas' ecological integrity. This paper presents the classification, typology, and benefits of the VGS for the energy performance of buildings. To analyse its energy and environmental impacts, the use of VGS was simulated on the façades of residential buildings in the urban area of the City of Banja Luka. The results showed that VGS reduced the temperature of the wall and air in and around the buildings, as well as the emission of CO<sub>2</sub> in the air.

### Key words:

vertical greenery systems (VGS), urban environmental quality, energy-efficient buildings, sustainable planning

## 1. Uvod

Institut za svemirske studije NASA-in Goddard (NASA's Goddard Institute for Space Studies) otkrio je da su globalne površinske temperature više za 0,8 °C u posljednjem desetljeću nego početkom 20. stoljeća, a dvije trećine tog zagrijavanja dogodilo se od 1975. [1]. Kao posljedica porasta globalne temperature, tijekom 21. stoljeća pojačava se porast toplinskih valova i obilnih oborina [2]. Toplinski udar ugrožava zdravlje ljudi i dovodi do povećane smrtnosti [3], a očekuje se da će ekstremni klimatski događaji biti iznimno rizični za društvo i ekosustave [4].

Na rast globalne temperature utjecao je i nekontrolirani rast gradova. Prvi je put godine 2008. više od polovine svjetskog stanovništva živjelo u gradovima. Ujedinjeni narodi procjenjuju da će do 2050. urbanog stanovništva biti 67 % [5]. Rezultati brze urbanizacije su ekološki problemi (buka, zagađenje, urbani toplinski otok) i ozbiljna prijetnja kvaliteti urbanog života [6].

S druge strane, rast stanovništva, veće potrebe za građevinskim uslugama, kao i porast vremena provedenog unutar zgrada, uzrokovali su trend rasta potrošnje energije [6]. Gradovi imaju visoku razinu potrošnje energije koja se može nadoknaditi korištenjem obnovljivih izvora energije, iskorištavanjem karakteristika urbanog okruženja [7]. Arhitektonski objekti troše 32 % ukupne finalne energije, dok je udio potrošnje primarne energije 40 %, što premašuje potrošnju energije u industrijskom i prometnom sektoru. Prema dostupnim podacima, na području Bosne i Hercegovine postojeće zgrade individualnog i kolektivnog stanovanja troše istu količinu energije kao zgrade sličnih karakteristika u Europi u razdoblju 90-ih godina prošlog stoljeća [8].

U razdoblju od 1990. do 2010. unos je primarne energije povećan za 49 %, a emisija CO<sub>2</sub> za 43 % [9]. Građevinski sektor, uključujući kućanstva i uslužnu industriju, jedan je od najvećih potrošača energije s dvije trećine konačne potrošnje energije u 2010. godini. Procjenjuje se da se oko 56 % ukupne energije troši u stambenom sektoru [10]. Potrošnja energije u građevinskom sektoru kontinuirano raste i tako će biti sve dok se objekti ne projektiraju za učinkovitije korištenje energije. Inače, očekuje se da će se potražnja za energijom povećati za 50 % do 2050. godine, što upozorava na važnost smanjenja potrošnje energije u zgradama [11].

Na toplinske karakteristike utječu: ovojnica, unutarnja temperatura, ventilacijski sustav, infiltracija, provodljivost, vrsta ostakljenja i razina izolacije [12]. Ovojnica zgrade je ključni element zgrade koji utječe na njenu energetske ravnotežu i kvalitetu klimatskih uvjeta interijera (toplinska, zvučna, zračna i svjetlosna udobnost) [13]. Na njega utječu temperaturne razlike između unutarnjeg i vanjskog prostora. Kroz njega zgrada izravno gubi toplinu, pa je njezino oblikovanje vrlo važan i prvi korak prema energetski učinkovitoj gradnji [14]. Toplinske karakteristike ovojnice zgrade ovise o materijalu od kojeg je izgrađena i o unutarnjoj temperaturi [12].

U svojoj nedavnoj studiji, Li i sur. [15] preporučuju korištenje zelenila u gradovima. Međutim, u gusto izgrađenom središtu

grada nemoguće je posaditi biljni materijal u prizemlju. Stoga se zeleni krovovi i sustavi vertikalnog ozelenjavanja (SVO) sve više primjenjuju kao sredstva za obnovu ekološke cjelovitosti urbanih područja i smanjenje potrošnje energije u zgradama.

Zeleni krovovi su pasivna tehnika hlađenja koja zaustavlja dolazak Sunčevog zračenja u građevinsku strukturu ispod [16]. SVO obuhvaća bilo koju metodu postavljanja biljaka na okomitu površinu, neovisno o načinu rasta biljnog materijala [17]. Teorijski dio rada daje pregled literature o različitim vrstama SVO-a i studije o utjecaju SVO-a na energetske učinkovitost ovojnice zgrade. Primijenjenim istraživanjem obuhvaćeno je susjedstvo u urbanom području grada Banjaluke, u kojem se nalaze katnice, bez dovoljno prostora za sadnju drvoreda, pa bi implementacija SVO-a, osim utjecaja na okoliš, imala učinak i na oblikovanje identiteta i povećanje prostorne vizualne atraktivnosti.

## 2. Metodologija

Ovaj rad prikazuje literaturu o klasifikaciji i primjeni SVO-a na ovojnicu zgrada, s težištem na teme vezane uz energetske učinkovitost zgrada. Pregledom literature razmatra se vremenski okvir od 1980. do kraja 2019. godine i uključuje dva vremenska sustava vertikalnog ozelenjavanja: sustav zelenih fasada i sustav živućih zidova. Analiza sustava uključuje pregled definicija, karakteristika i potencijalnih prednosti SVO-a za energetske učinkovitost zgrada. Budući da je u Bosni i Hercegovini (BiH) ovo novo, malo istraženo i rijetko primijenjeno područje, cilj je predstaviti istraživanja koja bi mogla uputiti na važnost tog područja i postaviti temelje za inicijalna istraživanja na institutima i fakultetima, kao i za izradu arhitektonskih projekata. Istraživanje podrazumijeva primjenu metode analize sadržaja (analizu dostupne literature unutar predmetnog područja), kako bi se prikazali relevantni podaci i formirala teoretska baza istraživanja.

Prvi dio rada objašnjava klasifikaciju i tipologiju SVO-a. Prikazan je individualni opis različitih tipova SVO-a, napravljen međusobnom usporedbom pojedinih tipova, kao i detaljna analiza sustava klasifikacije prema više autora iz ovog znanstvenog područja. Zatim su navedene prednosti SVO-a za energetske učinkovitost zgrada, tj. toplinski dobici. Analiza je rađena u odnosu na učinak sjenjenja (kroz izračun indeksa lisne površine) i hlađenja isparavanjem, kao i orijentaciju SVO-a, smanjenje brzine vjetra, analizu trajanja SVO-a i učinak UV zračenja na građevinske materijale.

Drugi dio rada obuhvaća eksperimentalno istraživanje na primjeru dijela susjedstva Borik u urbanom području grada Banjaluke. Analiza prostornoplanske dokumentacije uključivala je analizu različitih vrsta karata (ortofoto i geodetske karte), kako bi se dobili podaci o ukupnoj površini fasada na kojima se SVO može primijeniti. Opseg pilot - područja i zgrade koje se razmatraju u radu prikazani su na ortofoto karti pomoću Autodesk AutoCAD Map 3D softvera. Zatim su tijekom terenskih istraživanja snimljene fotografije na kojima se mogu vidjeti istraženi objekti. Nakon toga napravljen je 3D model prostora

pomoću SketchUp softvera. Završna faza eksperimenta uključuje simulaciju utjecaja na okoliš i energiju, a izvedena je pomoću dva softvera: EnviMET i EnergyPlus. U obzir su uzeti sljedeći parametri: smanjenje temperature u zgradama i ušteda energije, smanjenje temperature zidova i okoliša, smanjenje emisije CO<sub>2</sub> i količine zagađujućih čestica u zraku koje zelene fasade mogu očistiti.

Rezultati i doprinos ovog rada prikazani su i argumentirani u zaključku rada. SVO utječe na povećanje stupnja ozelenjavanja urbane matrice i poboljšanje ekološke kvalitete gradova i na poboljšanje energetske učinkovitosti zgrada.

### 3. Klasifikacija i tipologija SVO-a

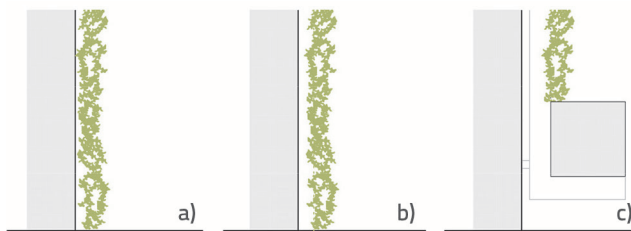
Koncept vertikalnog ozelenjavanja datira još iz babilonske civilizacije i izgradnje Semiramidinih visećih vrtova (600. pr. Kr.), kao jednog od sedam svjetskih čuda [18]. Kao važan element građane strukture, na području stare Grčke vegetacija je uvedena u obliku sadnje kukuruza i drugih biljnih vrsta na krovovima u čast boga Adonisa. Također, pergole s ružama penjačicama i vinovom lozom nezaobilazan su element rimskih vrtova. Sa stajališta urbanizma značajan doprinos dao je Ebenezer Howard, koji je 1898. godine uveo ideju vrtnog grada i upozorio na važnost urbanog zelenila za urbanizam i planiranje [19]. Iako korištenje zidnih penjalica nije novi trend, sustavi i namjena njihove uporabe promijenili su se u posljednjih nekoliko desetljeća [20].

SVO se sastoji od potkonstrukcije sustava, prikladnog medija za rast, biljaka, a često i instalacijskih sustava za navodnjavanje i gnojidbu. Biljke su važan element u cijelom sustavu i njihov izbor treba prilagoditi vrsti sustava, čimbeniku okoliša i mikroklimatskim uvjetima, kao i očekivanoj razini održavanja i budžetu. Mediji za rast su supstrati u kojima korijenski sustav biljaka nalazi svoju hranu, kao npr. klasično tlo (hranjive tvari propadanjem biljaka i životinja), lagano tlo (ravnoteža komposta, treseta i minerala), filc (podloga tla koja pruža platformu za rast

biljaka) ili pjena (lagana i stabilna podloga koja prenosi hranjive tvari iz vode u biljke). Vrsta medija za uzgoj određuje vrstu sustava [18].

SVO, kao pojam u stranoj literaturi, pojavljuje se u obliku raznih termina. Pojmovi vertikalni sustav ozelenjavanja, zeleni zid i okomito vrtlarstvo često se u znanstvenoj literaturi rabe kao sinonimi.

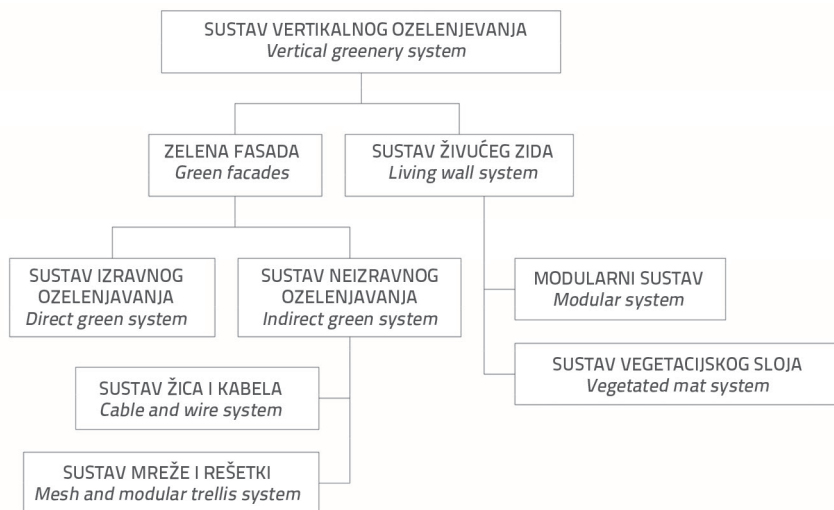
Klasifikacija SVO-a prikazana u ovom radu nastala je nakon usporedbe pojedinih tipova SVO-a i detaljne analize sustava klasifikacije prema više autora iz ovog znanstvenog područja [17, 21-23], ovisno o primarnom aspektu sagledavanja ostvarenih koristi. Načelo klasifikacije temelji se na vegetacijskom mehanizmu rasta i načinu primjene odgovarajućih tipova potkonstrukcije, kao i biljnog supstrata i sustava navodnjavanja, prije svega na temelju klasifikacije koju su osmislili Perini i sur. [23]. U svom istraživačkom radu autori dijele SVO na sustav zelenih fasada i sustav živućih zidova (slika 1.).



Slika 2. Zelena fasada: a) Sustav izravnog ozelenjavanja; b) Sustav neizravnog ozelenjavanja; c) Sustav neizravnog ozelenjavanja s kutijom za sadnju [25]

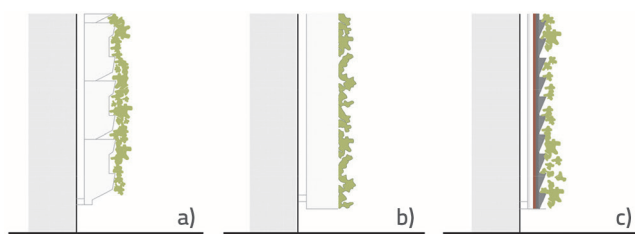
Zelena fasada je vrsta SVO-a za ozelenjavanje fasadnih površina isključivo zimzelenim ili listopadnim biljnim vrstama penjačica i puzavica (npr. *Hedera Helix* ili *Parthenocissus tricuspidata* - *Boston Ivy*). Zelene fasade koriste penjalice pričvršćene izravno na površinu zgrade – sustav izravnog ozelenjavanja (slika 2.a). Penjačice zasađene u zemlju na dnu zgrade predstavljaju najstariji princip ozelenjavanja.

Jednostavno održavanje, kao i niski troškovi ugradnje sustava, osigurali su široku primjenu ovog tipa SVO-a, unatoč tome što su ponekad moguća oštećenja fasade uslijed agresivnog rasta pojedinih biljnih vrsta. Prilikom planiranja takve zelene fasade važno je znati da neke biljke mogu narasti 5-6 m, druge oko 10 m, a neke vrste najmanje 25 m. Također, zelene fasade koriste penjačice pričvršćene neizravno na površinu zgrade - sustav neizravnog ozelenjavanja, i to poduprto kabelima ili mrežama (slika 2.b) ili kutijom za sadnju (slika 2.c) s biljnim vrstama penjačica i puzavica (npr. *Wisteria*, *Clematis*, *Ipomoea quamoclit*, *Campsis grandiflora*, *Akebia quinata*).



Slika 1. Klasifikacija sustava vertikalnog ozelenjavanja, prema [24]

Sustav živućih zidova je složeniji tip ozelenjavanja zidne površine, koji se sastoji od modularnih ploča koje sadrže supstrat ili druge umjetne medije za uzgoj, na primjer pjenu, filc, perlit i mineralnu vunu. Paneli zahtijevaju hidroponske biljke koji koriste uravnotežene hranjive otopine kako bi se osigurale sve ili dio biljne potrebe za hranom i vodom. Ovi sustavi obično koriste zimzelene biljke (male zeljaste vrste, višegodišnje cvijeće, nisko grmlje, paprati i trave). Začetnik sustava je botaničar Patrick Blanc. Posljednjih godina razvijene su različite vrste sustava. Svaki od njih ima specifične karakteristike, počevši od medija za rast. Sustav živućih zidova dijeli se na sustav vegetacijskog sloja i modularni sustav s biljkama kao što su *Sedum*, *Heuchera*, *Pilea*, *Deutzia*, *Acorus*, *Enonymus*, *Asplenium*. Na slici 3. prikazana su tri tipa sustava živućih zidova s različitim principima uzgoja i planiranja: sustav živućih zidova s kutijama za sadnju (slika 3.a), sustav živućih zidova na pjenastoj podlozi (slika 3.b) i sustav živućih zidova na sloju od filca (slika 3.c) [25, 26].



Slika 3. Sustav živućeg zida: a) s kutijama za sadnju; b) na pjenastoj podlozi; c) na sloju od filca [25]

Sustav živućih zidova povećava raznolikost biljnih vrsta i nudi mnogo kreativnija oblikovna rješenja. Uzgoj biljaka u svakom modulu živućeg zida za pokrivanje cijele površine traje kraće od zelenih fasada. Ako je jedna biljka oštećena ili uvenula, moguće je promijeniti samo taj modul umjesto cijele fasade [20]. Supstrat također pridonosi rastu biljke, gdje je 5–10 cm pogodno za primjenu u sustavu živućeg zida [25]. Funkcionalno, većina ovih sustava zahtijeva složenije oblikovanje u usporedbi sa zelenim fasadama. Često su vrlo skupi i teško se održavaju [26]. Perini i Rosasco [27] zaključuju da su SVO skuplji od golih zidova, ali da se ova investicija isplati zbog višestrukog pozitivnog utjecaja. Zelena fasada i živući zid imaju različite karakteristike, učinak hlađenja i izolacije [28]. Neadekvatan odabir biljaka, kao i neusklađenost sa zahtjevima određenog područja, može dovesti do raznih problema kao što su: prerastanje, uvenuće biljaka, problemi sa štetočinama ili bolestima, zahtjevno održavanje, loša estetika i neatraktivne zidne strukture [25]. Stoga je za zelene fasade potrebno izabrati adekvatne biljke, izabrati fasadu na osunčanom mjestu te dovoljno zalijevati i redovno podrezivati biljke [29].

#### 4. Prednosti SVO-a za energetska učinkovitost zgrada

Ozelenjavanje ovojnice zgrada održivo je rješenje za: poboljšanje ekološke ravnoteže gradova; potpora biološkoj raznolikosti; smanjenje urbanih toplinskih otoka, otjecanja kišnice, buke i

emisije CO<sub>2</sub>; poboljšanje kvalitete zraka [30] i ušteda energije u zgradama - sposobnost zelenila da zaštiti zgrade od pregrijavanja i infiltracije hladnog zraka [23, 31].

Mnoga istraživanja su pokazala da vegetacija na ovojnici zgrade može biti učinkovita na razini ekološke učinkovitosti zgrade. DeWalle i Heisler [32] u svom istraživanju još 1980. godine sugerirali su da vegetacija može smanjiti infiltraciju hladnog zraka u ovojnicu zgrade i do 40 %.

Vegetacija apsorbira veliku količinu Sunčevog zračenja za svoj rast i svoje biološke funkcije [26]. Može značajno smanjiti temperaturu oko ovojnice zgrade i time smanjiti količinu energije potrebne za grijanje i hlađenje zgrada [33], kao i smanjiti infiltraciju hladnog zraka i konvektivne gubitke topline u zgradi [23]. U većini regija svijeta opterećenja za grijanje i hlađenje predstavljaju najveću potrošnju energije u građevinskom sektoru [22].

Nekoliko eksperimentalnih studija istraživalo je toplinske dobitke i gubitke zelenih zidova [21, 34]. Od novijih istraživanja, npr. istraživanja Djedjiga i sur. [35] provedeno je tijekom dvije zime korištenjem malih fizičkih modela cigle prekrivenih pomoću *Hedera helix* kako bi se istražila izolacijska svojstva biljaka tijekom hladnog vremena. Istraživanje je pokazalo smanjenje prosječne potrošnje energije od 21 % u odnosu na gole modele tijekom prve zime (što znači 4,3 i 5,4 kWh tjedno). Tijekom druge zime, kada je lišće bilo veće, ostvarena je ušteda od 37 % (3,7 u odnosu na 5,9 kWh tjedno). Prisutnost *Hedera helix* značajno je poboljšalo temperaturu cigle u odnosu na goli zid. Najveće uštede energije vezane su za ekstremnije vremenske uvjete (niske temperature, jak vjetar ili kiša). U takvim slučajevima zelene fasade mogu povećati energetska učinkovitost za 40–50 % i povećati temperaturu površine zida za 3 °C.

SVO sustavi poboljšavaju toplinsku izolaciju reguliranjem vanjske temperature. Opseg uštede ovisi o različitim čimbenicima kao što su klima [34], udaljenost od fasada okolnih zgrada, vrsta ovojnice zgrade i gustoće listova. To može utjecati i na hlađenje i na grijanje zgrade. Zeleni zidovi ograničavaju kretanje topline kroz gustu vegetaciju, stvaraju tampon od vjetra tijekom zimskih mjeseci i smanjuju energiju potrebnu za grijanje i hlađenje [29]. Ottelé i Perini [33] ističu pozitivan utjecaj SVO-a na temperaturu interijera tijekom zimskih mjeseci, u odnosu na izložene zidove, navodeći da je taj učinak značajan za mogućnost uštede energije u grijanju zgrade. Temperatura zraka u zatvorenom prostoru je 2,1 °C viša od zida bez zelenila. To dovodi do poboljšanja R vrijednosti zida u odnosu na zid bez zelenila.

Također, Lesjak, Pajek i Košir [36] u svom eksperimentalnom istraživanju, sprovedenom tijekom ljeta 2018. godine, prikazuju simulaciju utjecaja indirektno zelene fasade na toplinsko ponašanje zgrade koja se nalazi na lokaciji Punat, na otoku Krku u Hrvatskoj. Primjenom indirektno zelene fasade utjecaj sunčevog zračenja smanjen je do 505 W/m<sup>2</sup>, a temperature na vanjskoj površini fasade smanjene su do 13,5 K. Eksperimentalni su rezultati korišteni za simuliranje toplinske ugodnosti u unutrašnjosti zgrade primjenom jednostavnog modela. Kada je indirektna zelena fasada postavljena preko čitavog zida izloženog suncu, prosječno smanjenje operativne temperature iznosilo je do 6 K za novu zgradu, tj. do

5 K za tradicionalnu kamenu kuću. Rezultati istraživanja pokazuju da se indirektna zelena fasada može primjenjivati kao zaštita od pretjeranog zagrijavanja elemenata zgrade izloženih ekstremnim vremenskim utjecajima, poput onih koji prevladavaju u području Kvarnerskog zaljeva u Hrvatskoj.

Perini i sur. [23] proučavali su razliku između izravnih i neizravnih zelenih fasada. Na površini zida iza izravne zelene fasade utvrđeno je malo smanjenje temperature od 1,2 °C u odnosu na površinu golog zida, a za sustav neizravnog ozelenjavanja utvrđeno je smanjenje od 2,7 °C na površini zida. Također, Ottelé i Perini [33] u svom radu predstavljaju komparativnu toplinsku analizu SVO-a pričvršćenog na element ovojnice zgrade. Rezultati pokazuju temperaturne razlike između golog zida i različitih analiziranih SVO-a do 1,7 °C za sustav izravnog ozelenjavanja, i 8,4 °C za sustav živućeg zida nakon osam sati grijanja ljeti, zbog različitih slojeva zida.

Istraživanje učinaka hlađenja izravnih zelenih fasada proveli su Yin i sur. [37] kroz studiju slučaja provedenu u zgradi Executive Office Building na Xianlin Sveučilištu Nanjing, Kina. Rezultati su pokazali da je dnevna srednja temperatura površine izravne zelene fasade bila značajno niža od prosječne temperature golog zida, uz maksimalno smanjenje od 4,67 °C. Učinkovitost hlađenja izravne zelene fasade najočitiija je tijekom dana (10:30-16:00 h) i značajno opada noću. Ovo istraživanje upućuje na činjenicu da primjena izravnih zelenih fasada u oblikovanju fasadnih zidova pridonosi učinkovitom hlađenju okoliša i smanjuje energiju potrebnu za hlađenje u zgradama.

Urađeno je nekoliko studija o orijentaciji SVO-a. Ovisnost o orijentaciji fasade potvrđena je njezinim doprinosom uštedi energije na istoku i zapadu [22]. Lee i Jim [38] proveli su eksperimentalna istraživanja na zelenim zidovima s penjačicama poduprtim kabelima, orijentiranim na sjeveroistok i sjeverozapad, s različitim dubinama zračnog prostora. Najbolji rezultati u hlađenju vanjske površine zida postignuti su u rasponu od 3,49 °C po sunčanom vremenu, 0,52 °C po oblačnom vremenu i 0,03 °C po kišnom vremenu. Tijekom noći vrijednosti su bile 0,78 °C, 0,05 °C i 0,03 °C. Sjeveroistočni zid ostvario je veće vanjsko hlađenje zraka od površine sjeverozapadnog zida za 0,38 °C i 0,77 °C po sunčanom vremenu. Sjeverozapadno orijentiran zeleni zid imao je veće hlađenje vanjske površine tijekom noći za 0,47 °C. Veći razmak između vegetacije i vanjske strane zida omogućuje veće hlađenje vanjske površine. Autori istraživanja napominju da bi fasade, koje su više izložene suncu, trebale imati prednost pri ozelenjavanju.

Do smanjenja energije za hlađenje zgrada dovodi evapotranspiracija. Zračna šupljina između zelenog sloja i zida zgrade djeluje kao toplinski tampon, koji može smanjiti gubitke topline kroz ovojnicu zgrade [20]. Wong i sur. [21] proučavali su osam različitih tipova SVO-a na betonskim zidovima. Sustav živućih zidova s modularnim panelima pokazao je bolji kapacitet smanjenja temperature površine zida i najniži dnevni raspon fluktuacije prosječne temperature površine zida u odnosu na zelenu fasadu. Maksimalno smanjenje površinske temperature živućeg zida evapotranspiracijom iznosilo je 11,58 °C.

Projekt Instituta za fiziku Sveučilišta Humboldt u Berlin-Adlershofu, kombinirao je upravljanje kišnicom i uštedu energije s prirodnim kondicioniranjem kroz zidove. Sjena koju stvaraju biljke, kao učinak hlađenja, utječe na potrošnju energije zgrade, postajući pravi pasivni klimatski uređaj. Rezultati projekta u Berlin-Adlershofu pokazuju da je evapotranspiracija oko dvije litre godišnje. To je 2 x 2670 kJ, što predstavlja energetski učinak od približno 1,483 kWh hlađenja godišnje. Dakle, isparavanje vode je najjeftiniji i najučinkovitiji način hlađenja zgrade. Evapotranspiracija je najvažnija ekološka korist zelenih fasada (i krovova) u urbanim područjima. Utječe na urbanu hidrologiju, na smanjenje temperature površina i poboljšava upravljanje kišnicom [29].

Učinkovitost SVO-a uvelike ovisi o klimatskim čimbenicima kao što su temperatura, relativna vlažnost, Sunčevo zračenje i brzina vjetra. Vegetacija može smanjiti brzinu vjetra na ovojnici zgrade kroz svoje bujno lišće [28, 29]. Zimi vjetar drastično smanjuje unutarnju temperaturu zgrada koje nemaju izolaciju (inhibicija vjetra). Čak i u zgradama koje su hermetički zatvorene, vjetar smanjuje učinkovitost redovite izolacije. SVO ima ključnu ulogu u smanjenju brzine vjetra i povećanju izolacijskog učinka.

Većina istraživačkih studija usredotočuje se na učinak zasjenjavanja koji daje biljka. Zeleni zid mogao bi pružiti hlad zgradi. Logično je da više toplinske energije ulazi u zidove bez sjene zbog izravnog izlaganja suncu. Fasada, potpuno prekrivena zelenilom, zaštićena je od intenzivnog Sunčevog zračenja u ljetnim mjesecima i može apsorbirati 40-80 % primljenog zračenja u lišću, ovisno o količini i vrsti zelenila. Učinak zasjenjavanja može značajno smanjiti protok topline kroza zid, a time i temperaturu okoline [31].

Najbolja orijentacija za primjenu sustava zelenila u hladnim klimatskim uvjetima je na način da se umanjí hladan zimski vjetar, ali osigura izravno Sunčevo zračenje na južne i istočne zidove. U umjerenim klimatskim uvjetima, vegetacijski sloj ne bi trebao blokirati ljetne vjetrove, ali bi trebao smanjiti hladan zimski vjetar. Osim toga, izravna Sunčeva svjetlost na južnom zidu nužna je za mjesta s visokim stupnjem grijanja. U tropskim klimatskim uvjetima potrebno je povećati učinak zasjenjavanja i brzinu vjetra korištenjem odgovarajuće vrste biljaka, a u vrućim i suhim klimama potrebna je najveća količina zasjenjavanja i evapotranspiracije. Zapadni i istočni zid su mjesta koja trebaju najveću zaštitu od sunca. Suho okruženje povećava stopu evapotranspiracije, a vjetar ubrzava ovaj trend uklanjajući vlagu iz obližnje vegetacije [20]. Perini i sur. [23] procijenili su utjecaj dva zelena zida na brzinu vjetra i otkrili da biljke stvaraju vanjski izolacijski sloj i doprinose uštedi energije i gubitku topline u hladnijem vremenu. Brzina vjetra u blizini ovojnice zgrade smanjena je s 0,56 m/s na 0,10 m/s u rasponu od 10 cm ispred zračne šupljine.

Jedan od načina da se okarakterizira potencijalni učinak zelene nijanse je izračunavanje gustoće fasadnih listova pomoću indeksa površine lišća. Gustoća fasadnih listova ovisi o vrsti SVO-a, biljnoj vrsti, stupnju razvoja i klimatskim uvjetima [34]. Indeks površine lišća je definiran kao omjer jednostrane površine lista i površine tla. Što je njegova vrijednost veća, to je veći učinak kvalitete zasjenjenosti, veličine procesa transpiracije



i veći je učinak filtracije zračenja [25]. Gušće zelenilo je veći toplinski izolator.

Međutim, u literaturi nedostaju određeni podaci o ovom parametru (utjecaj klime na vrijednosti indeksa površine lišća, njegove varijacije prema visini i sl.) i odgovarajuća zajednička metodologija za njegovo mjerenje kako bi se ispitala energetska učinkovitost zgrada s vertikalnim zelenilom. Studija Périnija i sur. [23] nastoji uspostaviti zajednički i jednostavan način mjerenja indeksa površine lišća i uštede energije koju pruža SVO. Rezultati pokazuju da je najjednostavniji i najbrži postupak mjerenja indeksa površine lišća indirektna metoda koja se temelji na količini svjetlosti koja se prenosi kroz zeleni ekran. Eksperimentalnim testovima postignute su zanimljive uštede energije: do 34 % za vrstu *Boston Ivy* s indeksom površine lišća 3,5–4,0 tijekom ljetnog razdoblja pod mediteranskom kontinentalnom klimom.

Hoelscher i sur. [3] razlikuju učinke zasjenjenosti, transpiracije i izolacije. Studija je pokazala da vegetacija može ublažiti učinak toplinskog otoka izravnim zasjenjivanjem površina, koje apsorbiraju toplinu, i evapotranspiracijom. Dok su površinske temperature unutarnjih i vanjskih zidova očito smanjene ozelenjavanjem, nije bilo jasnih razlika u temperaturi okolnog zraka. Na temelju temperature unutarnjih zidova moglo bi se pokazati da su zelene fasade najučinkovitije tijekom noći, što je vrlo važno za smanjenje noćnog toplinskog stresa u zatvorenom prostoru. Stoga oblikovanje fasadnog zelenila ima velik utjecaj na učinak hlađenja prema kanjonu ulice i zgrade. Učinci hlađenja u vrućim ljetnim danima uglavnom ovise o zasjenjivanju, a manji je udio posljedica transpiracije. Fasadno zelenilo mora biti dovoljno zalijevano do  $2,5 \text{ Ld}^{-1} \text{ m}^{-2}$  (WA) kako bi se zidovi mogli ohladiti. Oznaka L se odnosi na litar, a  $\text{d}^{-1} \text{ m}^{-2}$  predstavlja dnevnu stopu transpiracije po jedinici zidne površine (eng. *wall area* - WA).

Tablica 1. Ušteda energije za grijanje, ušteda energije za hlađenje i smanjenje temperature za mediteransku i umjerenu klimu [26]

Sustav ozelenjavanja	Korist	Mediteranska klima	Umjerena klima
Izravno zelenilo	UEG	1,2 %	1,2 %
	ST	4,5 °C	2,6 °C
	UEH	43 %	---
Neizravno zelenilo	UEG	1,2 %	1,2 %
	ST	4,5 °C	2,6 °C
	UEH	43 %	---
Sustav živućeg zida s kutijama za sadnju	UEG	6,3 %	6,3 %
	ST	4,5 °C	2,6 °C
	UEH	43 %	---
Sustav živućeg zida na slojevima filca	UEG	4 %	4 %
	ST	4,5 °C	2,6 °C
	UEH	43 %	---

UEG - ušteda energije za grijanje (eng. energy saving for heating - ESH);  
 ST - smanjenje temperature (eng. temperature decrease - TD);  
 UEH - ušteda energije za hlađenje (eng. energy saving for cooling - ESC)

Za učinkovitu procjenu održivosti zgrade djelotvorna je analiza životnog ciklusa. Studija koju su proveli Ottelé i sur. [39] u vezi

s analizom životnog ciklusa četiri tipa SVO-a, prikazuje profil opterećenja okoliša u odnosu na uštedu energije za klimatizaciju i grijanje u mediteranskoj i umjerenoj klimi (tablica 1.). Za sve proučavane sustave utvrđene su temperaturne razlike između golih i zelenih zidova. Utvrđeno je da temperaturni gradijent kroz sustave živućih zidova pokazuje inhibitorni učinak, što rezultira značajno nižim temperaturama (do 10 °C) vanjske zidane konstrukcije. Zbog tih nižih temperatura manje se topline akumulira u ovojnici zgrade, što najviše pridonosi učinku urbanih toplinskih otoka (vanjska klima). Posebno je pozitivan učinak sustava živućih zidova na toplinsko ponašanje zgrada. Međutim, za održivi pristup, mikroklimatske i ekološke koristi koje se mogu postići moraju biti povezane s opterećenjem okoliša stvorenim tijekom životnog ciklusa SVO-a.

Na temelju svega navedenog može se zaključiti da je sustav vertikalnog ozelenjavanja način poboljšanja loše energetske učinkovitosti zgrada. Preuređenje postojećih zgrada promjenom fasada i njihovih površinskih svojstava također će povećati njihovu energetska učinkovitost [30].

SVO će također smanjiti količinu UV zračenja na građevinskim materijalima [29], jer će velike količine Sunčevog zračenja biti adsorbirane za rast biljaka i njihove biološke funkcije. Budući da UV zračenje degradira mehanička svojstva premaza, boja, plastike itd., SVO će utjecati na trajnost konstrukcija [21]. Izbor materijala i aspekti trajnosti važan su utjecaj na okoliš, posebno kada se energetske potrebe zgrade mogu smanjiti ili kada se multifunkcionalnost konstrukcije može povećati zbog integracije vegetacije. Međutim, ako je zelena fasada izravno pričvršćena, penjačice mogu oštetiti vanjski sloj ovojnice zgrade, osobito u slučaju gipsanih zidova.

Osim toga, SVO daje estetsku kvalitetu okruženju u kojem ljudi obavljaju svoje svakodnevne aktivnosti. Brojne studije povezuju prisutnost biljaka s poboljšanjem ljudskog zdravlja i mentalne dobrobiti. Poboljšana estetika ozelenjenih zgrada može pomoći u plasiranju projekta i osigurati vrijedan prostor za ugodan boravak ljudi [29]. Stoga je strategija zelene gradnje vrlo važna, kako zbog održivog pristupa gradnji tako i zbog pozitivnog utjecaja na zdravlje ljudi i kvalitetu njihova života u gradu.

## 5. Istraživanje pilot-područja

Prvi uvjet za odabir pilot-područja bio je da prostor ima objekte koji imaju neprozirne dijelove fasada na koje se može ugraditi jedan od SVO tipova. Također je poželjno da su južne orijentacije jer bi primjena ovog sustava trebala imati funkciju smanjenja pregrijavanja tijekom ljetnog razdoblja. Drugi uvjet za odabir pilot-područja su smanjeni prostorni kapaciteti za sadnju drvoreda. Tu će ulogu djelomično zamijeniti SVO. Uzimajući u obzir sve navedene kriterije, odabrano je susjedstvo Borik, u urbanoj zoni grada Banja Luke, u Beogradskoj ulici (slika 4.). Naselje Borik u Banja Luci dobilo je urbanistički koncept 1964. godine. Izgrađeno je u periodu od 1971. do 1973., nakon katastrofalnog potresa koji se dogodio 1969. godine u Banja Luci. Prvu varijantu urbanističkog projekta susjedstva izradio je Pavle Paštar, arhitekt Urbanističkog zavoda Banjaluka.



Slika 4. Prostorna pokrivenost pilot-područja

Prema Urbanističkom projektu naselja iz 60-ih godina prošlog stoljeća, Borik je projektiran na površini od približno 40 ha i sadržavao je oko 3000 stanova. Njih 2700 planirano je u zgradama za kolektivno stanovanje visine od 4 do 16 katova, a ostatak u obiteljskom stanovanju. No, početkom 1969. godine Urbanistički zavod Banja Luka predstavio je novu varijantu projekta urbanog naselja "Mikrokvart Borik". Tehnička dokumentacija za izvođenje građevinskih radova izrađena je prema postupku natječaja po pozivu [40].

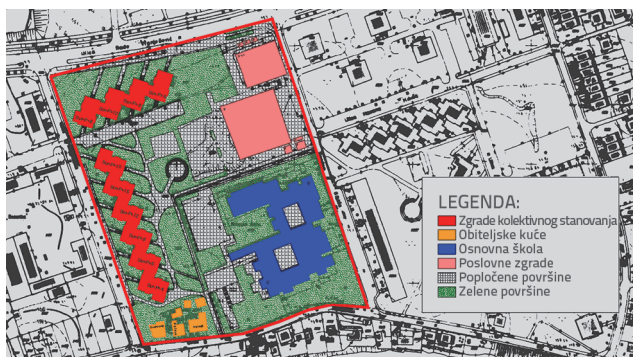
Borik je bio prvo stambeno naselje u Banja Luci, koje je sadržavalo i druge funkcije: društveno-trgovački centar i osnovnu školu. Prostorne granice određuju prometnice, a između njih se nalaze tri tipa stambenih zgrada: kule, zgrade kolektivnog stanovanja i obiteljske kuće po obodu. Između njih su zeleni prostori s dječjim igralištima, sportski tereni i prostori za rekreaciju [40].

Blok sadrži dvije stambene lamele, s ukupno 10 zgrada kolektivnog stanovanja, sa šest do 18 katova. Stambene lamele imaju vrlo razvedenu bazu. Konstrukcijski sustav je skeletni od montažnih armiranobetonskih stupova i greda s armiranobetonskim armaturnim pločama. Vanjski zidovi su izrađeni od armiranobetonskih sendvič-panela ukupne debljine 17 cm (AB zid 9 cm, toplinska izolacija 3 cm, AB zid 5 cm). Energetska obnova zgrada nije urađena, ali Arnautović-Akšić i sur. [41] proveli su istraživanje na ovim lamelama. Toplinsko snimanje pokazuje da lamele imaju najveće površinske gubitke topline na poziciji postojećih prozora, zatim fasadni zidovi unutar izvornih lođa i pri promjeni dimenzija vanjskog zida na poziciji prepusta. Veći površinski toplinski gubici su i na spojevima fasadnih sendvič-panela s nosivom konstrukcijom. U-koeficijent za vanjski zid je  $1,13 \text{ W/m}^2/\text{K}$ . Autori su predložili poboljšanje na način da se na zid s vanjske strane doda 10 cm toplinske izolacije i 1 cm fasadne žbuke. U-koeficijent za vanjski zid je  $0,30 \text{ W/m}^2/\text{K}$  nakon poboljšanja. Ako bi poboljšanje bilo s toplinskom izolacijom 20 cm i fasadnom žbukom 1 cm, tada je U

=  $0,17 \text{ W/m}^2/\text{K}$ . Što je niži koeficijent prolaska topline, to je bolja toplinska zaštita zgrade [41].

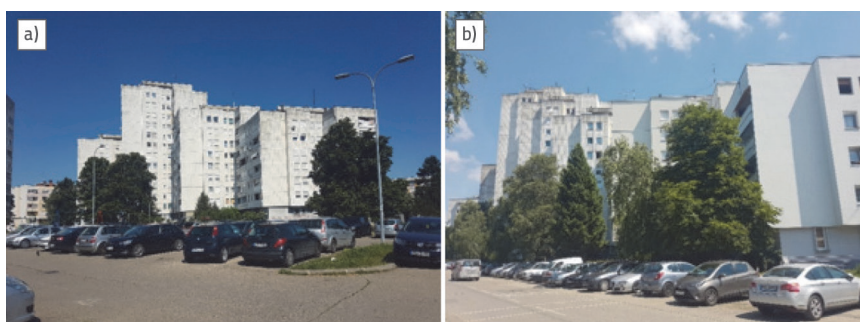
Prilikom ugradnje SVO sustava, zidne površine prvo moraju biti u dobrom stanju kako bi se spriječila moguća oštećenja konstrukcije uzrokovana agresivnim sustavom rasta. Ako je površina zida u lošem stanju, biljke mogu pokrenuti proces urušavanja. Zato je potrebno prethodno sanirati površinu zida. U slučaju opasnosti od vlage potrebno je pravilno i primjereno postaviti izolacijske slojeve, te vodonepropusne membrane i protukorijensku zaštitu kako bi se osigurala stabilnost zidne konstrukcije [17]. S obzirom na postojeće stanje ovojnica zgrada i činjenicu da su zgrade građene 70-ih godina prošlog stoljeća, preporučuje se prije postavljanja zelenih zidova ispitati nosivost konstrukcije, kao i energetska obnova, kako su predložili Arnautović-Akšić i sur. [41]. Također, s obzirom na velika kapitalna ulaganja, predlaže se da izvori financiranja budu europski fondovi usmjereni na povećanje energetske učinkovitosti i smanjenje negativnih učinaka klimatskih promjena.

Pilot područje obuhvaća zgrade za kolektivno stanovanje, obiteljsko stanovanje, osnovnu školu i poslovne zgrade (tržnica i supermarket sa sportskom dvoranom). Namjena površina i zgrada prikazana je na slici 5. Zgrade zauzimaju 25,3 % ukupne površine pilot-područja, zelenilo oko 43,3 %, a popločane površine prisutne su s oko 31,4 % (parkirališta, staze i platoi te sportski tereni u školskom dvorištu).

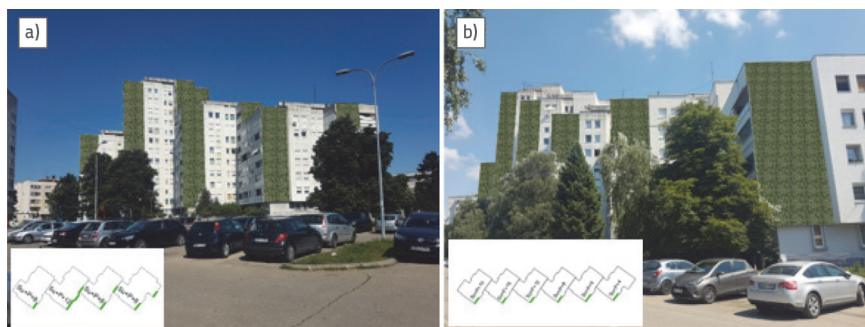


Slika 5. Tipologija zgrada i prostorna namjena pilot-područja

Na slikama 6.a i 6.b prikazane su stambene lamele i fasade na koje se može ugraditi SVO. Ukupna površina neprozirnih dijelova fasada dobivena je množenjem duljine zida s visinom, uzimajući u obzir broj katova pomnožen s tri metra i svakom dodajući



Slike 6. Istražene stambene zgrade



Slike 7. Fasade namijenjene za sustav vertikalnog ozelenjavanja

visinu parapeta koja iznosi 1,5 m. Prema proračunima pomoću softvera AutoCAD Map 3D, na temelju ortofoto karata i zadanih katova, izračunano je da je okvirna površina neprozirnih fasada južne orijentacije 1.955,25 m<sup>2</sup>. Na slikama 7.a i 7.b prikazani su ozelenjeni dijelovi fasada.

Proces simulacije potrošnje energije rađen je za jednogodišnje razdoblje. Prema podacima iz knjige Tipologija stambenih zgrada u Bosni i Hercegovini [41], pretpostavlja se da je specifična godišnja energija potrebna za grijanje u istraživanim zgradama kolektivnog stanovanja 129,85 kWh/m<sup>2</sup>/godišnje s prekidom grijanja, odnosno 161,55 kWh/m<sup>2</sup>/godišnje bez prekida grijanja. Prosječna dnevna maksimalna temperatura zraka u najtoplijim mjesecima (lipanj i srpanj) za grad Banjaluku iznosi 28 °C.

Tijekom simulacijskog procesa uočeni su energetske i ekološke utjecaji izgradnje SVO-a na stambene zgrade, i to: temperatura zraka unutar zgrada, temperatura okolnog zraka, temperatura zidova zgrada, emisija ugljičnog dioksida i količina onečišćujućih tvari u zraku. Ekonomski aspekt izgradnje zelenih zidova na fasadama prikazan je kao komparativna analiza potrošnje energije u novcu, zatim primjenom mjera toplinskog poboljšanja i nakon izgradnje SVO-a. Prikazane su uštede energije u novcu na godišnjoj razini i rok povrata investicije.

## 6. Rezultati i rasprava

Dobiveni rezultati (tablica 2.) pokazuju da SVO može smanjiti temperaturu u zgradi do 2 °C, zatim temperaturu okoline smanjiti na 3,7 °C i temperaturu zida smanjiti za 8 °C. Osim toga, postoji značajan utjecaj na okoliš u smislu smanjenja emisije ugljičnog dioksida zbog smanjene potrebe za grijanjem i hlađenjem zgrada za oko 5,28 tona godišnje. Jedan kvadratni metar zelenih površina na fasadama godišnje može očistiti oko 0,1 kg zagađujućih čestica, a sve ovisno o biljnim vrstama koje se koriste u te svrhe,

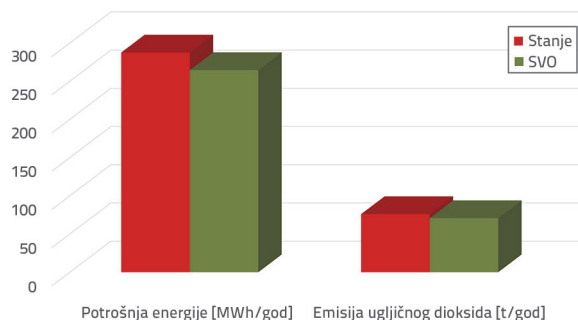
Tablica 2. Energetski i ekološki utjecaj SVO-a u pilot-području

	Smanjenje temperature u zgradi	Smanjenje temperature okolnog zraka	Smanjenje temperature zida	Smanjenje emisije CO <sub>2eq</sub> [kg/god.]	Pročišćavanje onečišćujućih čestica u zraku [kg/god.]
1 m <sup>2</sup>	2 °C	3,7 °C	8 °C	2,7	0,1
1.955,25 m <sup>2</sup>				5.279,175	195,525

odnosno ukupnoj lisnoj površini. Za ovo istraživanje pretpostavljeno je da se u SVO-u koriste sedumi i mahovine, kao vrste koje zahtijevaju najmanju njegu i koje se mogu samostalno održavati. Odabran je modularni sustav živućih zidova s biljkama zasađenim u kutijama, koje se pričvršćuju izravno na fasadu.

Prema podacima iz knjige Tipologija stambenih zgrada u Bosni i Hercegovini [41], godišnja potrebna toplinska energija za grijanje iznosi 287,32 MWh/god. Ugradnjom zelenih fasada potrošnja

se može smanjiti do 264,52 MWh/god., što je oko 8 % godišnje uštede. Procjenjuje se da se zbog potrošnje fosilnih goriva u ovim tipovima stambenih zgrada oko 38,04 t/god. CO<sub>2eq</sub>, što u pilot-području s dvije lamele iznosi 76,08 t/god. Ugradnjom zelenih fasada smanjenje od približno 5,28 t čini smanjenje od 6,9 %. Komparativna analiza potrošnje energije i smanjenja emisije ugljičnog dioksida, kao dva najrelevantnija pokazatelja prednosti korištenja SVO-a, prikazana je na slici 8.



Slika 8. Usporedna analiza utjecaja energije i okoliša prije i nakon instalacije SVO-a u pilot-području

Vegetacija fotosintezom izravno smanjuje CO<sub>2</sub> u zraku, pohranjujući ugljik u nadzemnim dijelovima biljaka i korijenu. U ovom primjeru prikazan je neizravni utjecaj koji podrazumijeva dugotrajan učinak zelenih fasada, odnosno smanjenje potrošnje energije u zgradama, što dovodi do smanjenja potrošnje fosilnih goriva za grijanje. Prostorni (3D) model područja u kojem je izvedena simulacija smanjenja temperature zida zgrada i okolnog prostora prikazan je na slici 9.

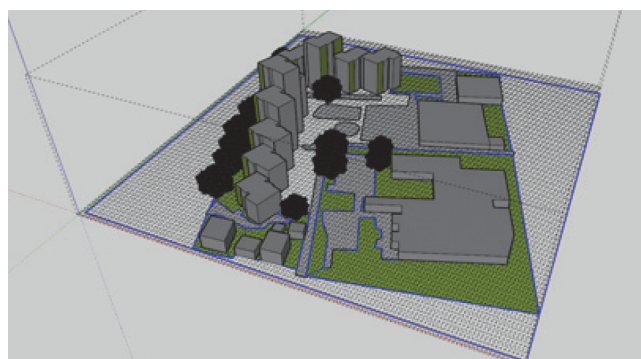
Kako bi se opravdala kapitalna investicija za predložene mjere optimizacije omotača zgrade, potrebno je izračunati period povrata investicija, pri čemu se optimalnim smatra period do



Tablica 3. Ekonomski aspekt obnove omotača zgrade

	Potrošnja energije [kWh/m <sup>2</sup> /god.]	Ušteda energije [kWh/m <sup>2</sup> /god.]	Ušteda u novcu [€/m <sup>2</sup> ]	Ukupna ušteda na godišnjem nivou [€] za 1.106,35 m <sup>2</sup>	Kapitalna investicija [€]
Stanje	161,55	-	-	-	-
Termičke mjere	64,62	96,93	15,50	17.148,42	113.046,65
SVO	148,62	12,92	2,07	2.290,14	43.560,00
Termičke mjere + SVO	51,70	109,85	17,57	19.438,57	156.606,65

8 godina. Pri ovoj analizi promatrane su samo neposredne koristi, odnosno ušteda energije za zagrijavanje zgrada izražena u novcu. Proračun je dobiven dijeljenjem ukupne investicije s ukupnom uštedom energije u novcu na godišnjoj razini za jednu zgradu od 5 katova (1.106,35 m<sup>2</sup>). Ako bi se u obzir uzela i energija za hlađenje, koja bi se također uštedjela na godišnjoj razini termičkom optimizacijom i instalacijom zelenih zidova, investicija bi se vratila i za manji period od proračunanog.



Slika 9. Prostorni (3D) model pilot područja

Ekonomski aspekt predloženih mjera unapređenja omotača prikazan je u tablici 3. i izračunan je za jednu zgradu na istraživanom području jer su lamele tipske, izgrađene u istom periodu i istih karakteristika. Specifična godišnja potrebna energija za grijanje bez prekida za jednu stambenu lamelu iznosi 161,55 kWh/m<sup>2</sup>/god. Ako bi se omotač obnovio prema predloženim termičkim mjerama (termoizolacija 10 cm i fasadna žbuka 1 cm), ta potrošnja bi se smanjila na 64,62 kWh/m<sup>2</sup>/god. (oko 60 % uštede) [41]. Izgradnjom zelenih zidova potrošnja energije bi iznosila 148,62 kWh/m<sup>2</sup>/god. (8% uštede na godišnjoj razini). Neto površina grijanog prostora iznosi 221,27 m<sup>2</sup> po katu, što ukupno za ovu zgradu iznosi 1.106,35 m<sup>2</sup> [41].

Banjalučka Toplana isporučuje uslugu grijanja i najčešće naplatu obavlja na tri načina: po kvadratnom metru grijane površine s naplatom tijekom cijele godine (12 mjeseci), po kvadratnom metru grijane površine s naplatom tijekom sezone grijanja (6 mjeseci) ili po utrošku očitanoj na kalorimetru [42]. 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 0,16 eura.

Za procjenu ukupnih kapitalnih investicija za energetske obnove fasade prema mjerama predloženim u Tipologiji [41], uzeta je u obzir stambena lamela sličnih karakteristika i istog razdoblja

izgradnje na kojoj su predložene iste termičke mjere. Cijena investicije iznosi oko 68,50 EUR/m<sup>2</sup> [43]. Osnova razmatrane zgrade je 336,98 m<sup>2</sup> i ukupno ima 5 katova. Okvirna površina omotača za obnovu iznosi 1.650,00 m<sup>2</sup>. Tako se došlo do ukupne cijene od 113.046,65 EUR za energetske obnove omotača. Prosječna cijena izgradnje modularnih zelenih zidova iznosi 400,00 EUR/m<sup>2</sup>. Kako zgrada ima ukupno 108,9 m<sup>2</sup> neotvorene fasade koja je predviđena za ozelenjavanje, tako ukupna početna investicija iznosi 43.560,00 EUR. Prema dobivenim podacima o ukupnim uštedama na godišnjoj razini (tablica 3.), ako bi se primijenile predložene termičke mjere i modularni zeleni zid, početna bi se investicija isplatila za osam godina.

## 7. Zaključak

Uvođenje osnovnih značajki sustava vertikalnog ozelenjavanja temelj je definiranja SVO-a kao suvremenog urbanističkog modela čijom se implementacijom postižu ekološke, ekonomske, društvene, prostorne i energetske prednosti za grad i zgrade. Princip klasifikacije SVO sustava, koji je obuhvaćen u ovom radu, čine glavni kriteriji na temelju kojih su izrađeni tipski modeli SVO. Primjenom SVO sustava uz ostvarenje ekoloških koristi, kojima se utječe na klimatske i mnoge druge ekološke probleme koji svakodnevno narušavaju kvalitetu života, ostvaruju se i društvene dobrobiti, što ovaj model urbanog oblikovanja čini prihvatljivim načinom obnove grada.

Istraživanja su pokazala da SVO ograničava kretanje topline kroz gustu vegetacijsku masu, stvara tampon protiv utjecaja vjetrova tijekom zimskih mjeseci, smanjuje potrebnu energiju za grijanje i hlađenje te utječe na trajnost konstrukcija i materijala zgrada. Primjena SVO-a utječe na povećanje energetske učinkovitosti zgrada. Međutim, na kraju se može zaključiti da je ova tema, i bez obzira na značajni broj istraživanja, ipak nedovoljno istražena i "nova" te zahtijeva daljnja proučavanja, prije svega:

- pronalaženje optimalne konfiguracije položaja SVO-a, oblika biljaka (indeks površine lišća i visine biljaka), zasjenjenja lišća (zimzeleni i listopadni) i svojstava supstrata (debljina, količina vlage i gustoća) za različite tipove klime;
- razvoj analize stacionarnog stanja u kontroliranim uvjetima (namjena zgrade, morfologija i razina izolacije), osim klimatskih čimbenika na sezonske energetske karakteristike SVO-a;
- proučavanje utjecaja SVO-a na uštedu energije za zgradu;
- rasprava o isplativosti različitih tipova SVO-a;

- veći broj istraživanja za klimatske uvjete u BiH i regiji, s autohtonim vrstama biljaka i različitim supstratima, ali i različitim tipovima SVO-a;
- na nacionalnoj razini usvojiti regulativu koja je zasnovana na jasnoj klasifikaciji i provedenim lokalnim istraživanjima, kako bi se jednostavnije mogla formirati strategija za izgradnju SVO-a;
- koncipirati sustav za poticaje investitorima, koji ovaj tip fasade primjenjuju u izgradnji novih ili rekonstrukciji i energetske sanaciji postojećih zgrada, s obzirom na višestruke pozitivne učinke koje ovi sustavi imaju na energetske potrebe zgrade (moguće iz fonda za energetiku, ekologiju i zdravstvo).

Eksperimentalni dio rada pokazao je da se primjenom SVO-a na zgradama kolektivnog stanovanja može uštedjeti i do 8 %

energije godišnje. Osim toga, postoji smanjenje emisije CO<sub>2</sub> oko 2,7 kg/m<sup>2</sup>/god. Zelene fasade također povoljno utječu na pročišćavanje zraka, smanjujući temperaturu zida i okolnog prostora, što pridonosi smanjenju mogućnosti stvaranja urbanog toplinskog otoka. Prema provedenom istraživanju, kapitalna investicija za implementaciju predloženih termičkih mjera i izgradnju modularnog zelenog zida isplatila bi se za 8 godina. Stoga bi primjena SVO-a trebala biti jedna od prioritarnih mjera u prilagodbi na klimatske promjene u urbanim područjima i poboljšanju mikroklimatskih karakteristika.

Sve navedeno pokazuje da su istraživanja SVO-a i dalje prijeko potrebna, posebno u Bosni i Hercegovini i regiji, gdje je sve to tek na počecima i gdje je vrlo malo znanstvenih istraživanja i primjera praktične primjene SVO-a.

## LITERATURA

- [1] Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M., Lo, K.: Global surface temperature change, *Reviews of Geophysics*, 48 (2010) 4, pp. RG4004, doi: 10.1029/2010RG000345
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Climate change 2007: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 2007, Available online at: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4\\_syr\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf)
- [3] Hoelscher, M.T., Nehls, T., Jänicke, B., Wessolek, G.: Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation, *Energy and Buildings*, 114 (2016), pp. 283–290, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.06.047
- [4] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, 2012. Available online at: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX\\_Full\\_Report-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_Full_Report-1.pdf)
- [5] United Nations (UN): World urbanization prospect: the 2011 revision, New York, 2012, Available online at: [https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/WUP2011\\_Report.pdf](https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/WUP2011_Report.pdf)
- [6] Perez-Lombard, L., Ortiz, J., Pout, C.: Review on Buildings Energy Consumption Information. *Energy and Buildings*, 4 (2008) 3, pp. 394–398, doi: 10.1016/j.enbuild.2007.03.007
- [7] Zalamea, E., Garcia Alvarado, R.: Roof characteristics for integrated solar collection in dwellings of Real-Estate developments in Concepción, Chile. *Revista de la Construcción. Journal of Construction*, 13 (2014) 3, pp. 36–44. Available online at: <http://revistadelaconstruccion.uc.cl/index.php/RDLC/article/view/13504/11818>
- [8] Kulić, E.: Korištenje energije u zgradarstvu, *Zbornik Međunarodnog kongresa o KGH*, pp. 135–147, 2019.
- [9] Šumarac, D., Todorović, M.N., Đurović-Petrović, M., Trišović, N.: Energy efficiency of residential buildings in Serbia. *Thermal Science*, 14 (2010) 5, pp. 97–113, doi: 10.2298/TSCI100430017S
- [10] Ministry of Energy and Natural Resources, Republic of Turkey, The National Energy Efficiency Action Plan (NEEAP) 2017–2023, Ankara, 2018, Available online at: <https://policy.asiapacificenergy.org/sites/default/files/National%20Energy%20Efficiency%20Action%20Plan%20%28NEEAP%29%202017-2023%20%28EN%29.pdf>
- [11] International Energy Agency (IEA): Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050, International Energy Agency, 2013.
- [12] Aguilera, F., Ossio, F.: Residential archetypes in urban energy simulation models in Chile: Determining factors of residential energy consumption. *Revista de la Construcción. Journal of Construction*, 16 (2017) 3, pp. 527–536, doi: 10.7764/RDLC.16.3.527
- [13] Szabó, L.: Effect of Architectural Glazing Parameters, Shading, Thermal Mass and Night Ventilation on Public Building Energy Consumption under Hungarian Climate, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 59 (2015) 2, pp. 209–223, doi: 10.3311/PPci.7091
- [14] Vasov, M., Stevanovic, J., Bogdanovic, V., Ignjatovic, M., Randjelovic, D.: Impact of Orientation and Building Envelope Characteristics on Energy Consumption, Case Study of Office Building in City of Nis, *Thermal Science*, 22 (2018) Suppl.5, pp. S1499–S1509, doi: 10.2298/TSCI18S5499V
- [15] Li, D., Liao, W., Rigden, A.J., Liu, X., Wang, D., Malyshev, S., Shevliakova, E.: Urban heat island: Aerodynamics or imperviousness? *Science Advances*, 5 (2019) 4, eaau4299, doi: 10.1126/sciadv.aau4299
- [16] Castleton, H.F., Stovin, V., Beck, S.B.M., Davison, J.B.: Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit, *Energy and Buildings*, 42 (2010) 10, pp. 1582–1591, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.05.004
- [17] Tong, J.: Living wall: jungle of concrete, Design Media Publishing Limited, 2013.
- [18] Safikhani, T., Abdullah, A.M., Ossen, D.R., Baharvand, M.: Thermal Impacts of Vertical Greenery Systems, *Environmental and Climate Technologies*, 14 (2014) 1, pp. 5–11, doi: 10.1515/ruct-2014-0007

- [19] Amorim, F., & Mendonça, P.: Advantages and constraints of living green façade systems, *International Journal of Environmental Science and Development*, 8(2017) 2, pp. 124-129, doi: 10.18178/ijesd.2017.8.2.933
- [20] Raji, B., Tenpierik, M.J., den Dobbelsteen, A.: The impact of Greening Systems on building energy performance: A Literature Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45 (2015), pp. 610-623, doi: 10.1016/j.rser.2015.02.011
- [21] Wong, N.H., Tan, A.J.K., TAN, P.J., Sia, A., Wong, N.C.A.: Perception studies of vertical greenery systems in Singapore. *Journal of Urban Planning and Development*, 136 (2010) 4, pp. 330-338, doi: 10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000034
- [22] Pérez, G., Rincón, L., Vila, A., González, J.M., Cabeza, L.F.: Behaviour of green facades in mediterranean continental climate, *Energy Conversion and Management*, 52 (2011) 4, pp. 1861-1867, doi: 10.1016/j.enconman.2010.11.008
- [23] Perini, K., Ottelé, M., Haas, E.M., Raiteri, R.: Greening the building envelope, façade greening and living wall systems, *Open Journal of Ecology*, 01 (2011) 01, pp. 1-8, doi: 10.4236/oje.2011.11001
- [24] Čekić, S., Trkulja, T., Došenović, Lj.: Typology of vertical greenery system, *GRAĐEVINAR*, 72 (2020) 11, pp. 1011-1019, doi: <https://doi.org/10.14256/JCE.2721.2019>
- [25] Prihatmanti, R., Taib, N.: Improving Thermal Comfort through Vertical Greeneries in Transitional Spaces for the Tropical Climate: A Review, *GSTF Journal of Engineering Technology*, 4 (2017) 3, pp. 116-123, doi: 10.5176/2251-3701\_4.3.212
- [26] Perini, K., Ottelé, M.: Vertical greening systems: contribution to thermal behaviour on the building envelope and environmental sustainability, *Eco-Architecture*, IV (2012), pp. 239-250, doi:10.2495/ARC120221
- [27] Perini, K., Rosasco, P.: Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems, *Building and Environment*, 70 (2013), pp. 110-121, doi: 10.1016/j.buildenv.2013.08.012
- [28] Lu, M., Lin, A.: Research on the Modular Living Walls System Based on Microclimate Adjustment in Severe Cold Areas of China. *Environment and Ecology Research*, 3 (2015) 5, pp. 132-135, doi: 10.13189/eer.2015.030503
- [29] Sheweka, S.M., Mohamed, N.M.: Green Facades as a New Sustainable Approach Towards Climate Change. *Energy Procedia*, 18 (2012), pp. 507-520, doi: 10.1016/j.egypro.2012.05.062
- [30] Dimitrijević, D., Živković, P., Dobrnjac, M., Latinović, T.: Noise pollution reduction and control provided by green living systems in urban areas, *Scientific Proceedings III International Scientific-technical Conference "Innovations" 2017*, pp. 124-127, 2017.
- [31] Hui, S.C.M., Zhao, Z.: Thermal regulation performance of green living walls in buildings, *The 2013 Joint Symposium on Innovation and Technology for Built Environment*, Hong Kong, pp. 1-12, 2013. Available online at: <http://hdl.handle.net/10722/193290>
- [32] DeWalle, D.R., Heisler, G.M.: Landscaping to reduce year-round energy bills, *Cutting energy costs: the 1980 yearbook of agriculture*, Washington DC, pp. 227-237, 1980, Available online at: <https://naldc.nal.usda.gov/download/IND81006320/PDF>
- [33] Ottelé, M., Perini, K.: Comparative experimental approach to investigate the thermal behaviour of vertical greened façades of buildings, *Ecological Engineering*, 108 (2017), pp. 152-161, doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.08.016
- [34] Scarpa, M., Mazzali, U., Peron, F.: Modeling the energy performance of living walls: Validation against field measurements in temperate climate, *Energy and Buildings*, 79 (2014), pp. 155-163. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.04.014
- [35] Djedjig, R., Belarbi, R., Bozonnet, E.: Green wall impacts inside and outside buildings: experimental study. *Energy Procedia*, 139 (2017), pp. 578-583, doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.256
- [36] Lesjak, V., Pajek, L., Košir, M.: Indirektna zelena fasada kao mjera za sprečavanje pregrijavanja, *GRAĐEVINAR*, 72 (2020) 7, pp. 569-583, doi: <https://doi.org/10.14256/JCE.2797.2019>
- [37] Yin, H., Kong, F., Middel, A., Dronova, I., Xu, H., James, P.: Cooling effect of direct green façades during hot summer days: An observational study in Nanjing, China using TIR and 3DPC data, *Building and Environment*, 116 (2017), pp. 195-206. doi: 10.1016/j.buildenv.2017.02.020
- [38] Lee, L.S.H., Jim, C.Y.: Subtropical summer thermal effects of wirerope climber green walls with different air-gap depths, *Building and Environment*, 126 (2017), pp. 1-12. doi: 10.1016/j.buildenv.2017.09.021
- [39] Ottelé, M., Perini, K., Fraaij, A.L.A., Haas, E.M., Raiteri, R.: Comparative life cycle analysis for green facades and living wall systems, *Energy and Buildings*, 43 (2011), pp. 3419-3429, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.09.010
- [40] Novaković, N.: Istraživanje obrazaca upotrebe javnih prostora u funkciji urbane regeneracije susedstva: Grad Banjaluka, *Doktorska disertacija*, Univerzitet u Beogradu, Arhitektonski fakultet, 2014.
- [41] Arnautović-Aksić, D., Burazor, M., Delalić, N., Gajić, D., Gvero, P., Kadrić, Dž., Kotur, M., Salihović, E., Todorović, D., Zagora, N.: Tipologija stambenih zgrada Bosne i Hercegovine, *GIZ*, 2016.
- [42] Eko-toplane Banja Luka, <https://ekotoplanebanjaluka.com/tarifni-sistem/>, 10.03.2022.
- [43] Janković S., Lukač M., Gvero P.: Banjaluka kao pametni grad do 2040. - Model naselja Borik, *Naučno-stručni simpozijum Energetska efikasnost – ENEF*, pp. 179-184, 2017.