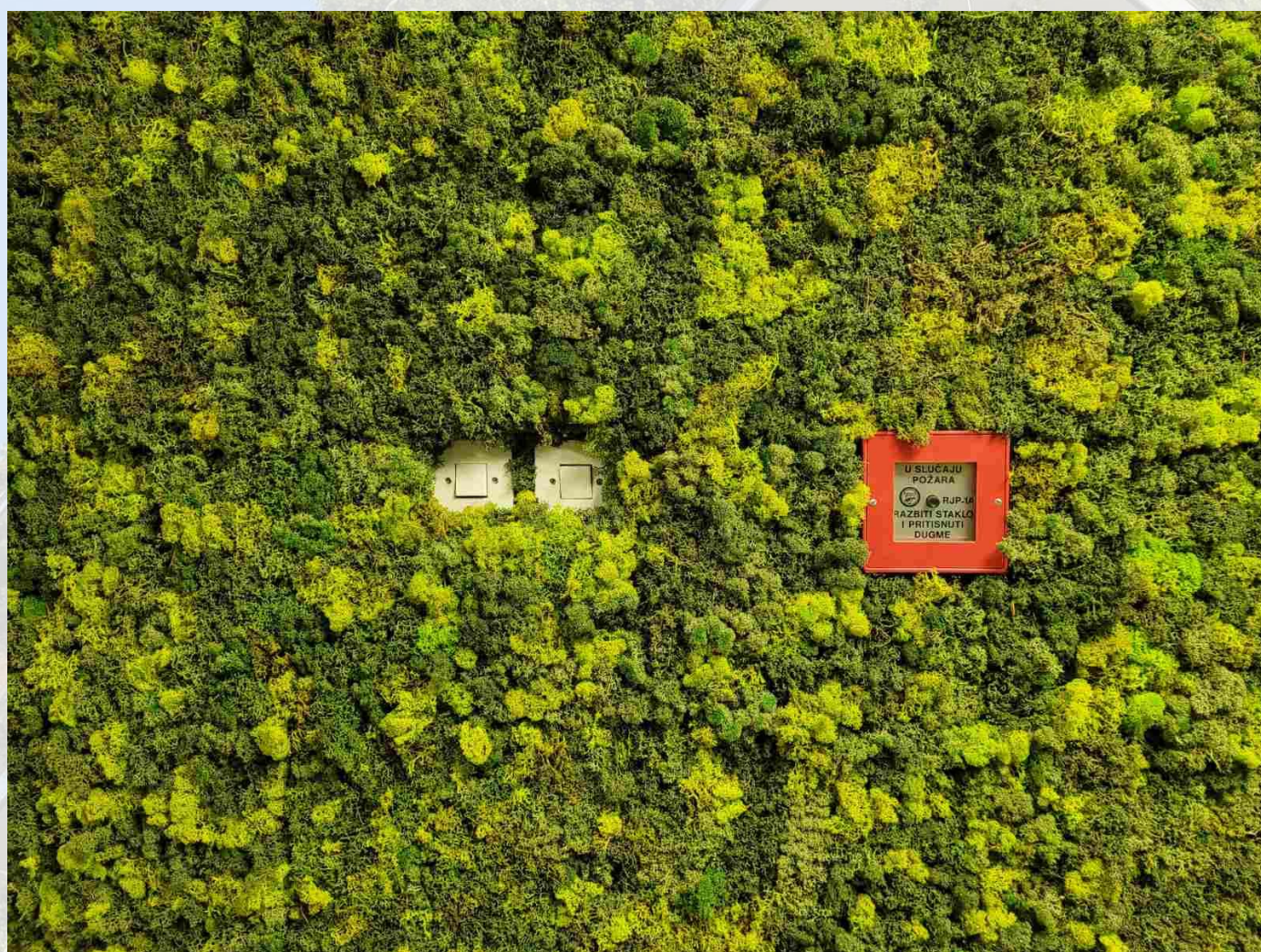


INTERCLIM

Dr Stevan Savić, Dr Jelena Dekić, Dr Hrvoje Krstić, MSc Milica Vasić

**PRAKTIČNI VODIČ ZA PRIMJENU RJEŠENJA
TEMELJENIH NA PRIRODI ZA BOLJU PRILAGODBU
OPASNOSTIMA OD KLIMATSKIH PROMJENA U
PREKOGRANIČNOM PODRUČJU HRVATSKE I SRBIJE**



INTERCLIM

Sveučilište u Novom Sadu, Prirodoslovno-matematički fakultet
ODJEL ZA GEOGRAFIJU, TURIZAM I HOTELIJERSTVO

PRAKTIČNI VODIČ ZA PRIMJENU RJEŠENJA TEMELJENIH NA PRI- RODI ZA BOLJU PRILAGODBU OPAS-NOSTIMA OD KLIMATSKIH PROMJENA U PREKOGRANIČNOM PODRUČJU HRVATSKE I SRBIJE

Autori

Dr. sc. Stevan Savić, redoviti profesor

Sveučilište u Novom Sadu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Srbija

Dr. sc. Jelena Dekić, docentica

Sveučilište u Novom Sadu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Srbija

Dr. sc. Hrvoje Krstić, redoviti profesor

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet, Vladimira Preloga 3, 31000 Osijek, Hrvatska

MSc Milica Vasić, asistentica istraživačica

Sveučilište u Novom Sadu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Srbija

Izdavač publikacije

Sveučilište u Novom Sadu, Prirodoslovno-matematički fakultet

Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Srbija

Informacije o projektu INTERCLIM

Naslov projekta: INTERAKTIVNI KLIMATSKI SERVISNI SUSTAV – KORIŠTENJE ZELENE INFRA-
STRUKTURE I MREŽNIH ALATA ZA BOLJU PRILAGODBU I OTPORNOST NA OPASNOSTI OD
KLIMATSKIH PROMJENA U PREKOGRANIČNOM PODRUČJU HRVATSKE I SRBIJE

Akronim:	INTERCLIM
Kod projekta:	HR-RS00094
Voditelj projekta:	Sveučilište u Novom Sadu, Prirodoslovno-matematički fakultet (UNSPMF)
Partneri:	JKP „Gradsko zelenilo” Novi Sad (GREEN) Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek (GRAFOS) Grad Osijek (OSIJEK)
Trajanje projekta:	Rujan 2024. – ožujak 2027.
Ukupni proračun:	1,805,768.00 €
Financiranje EU-a:	1,534,902.20 €
Kontakt:	stevan.savic@dgt.uns.ac.rs (Stevan Savić, voditelj projekta)

Veb-stranica programa: www.interreg-croatia-serbia.eu

Informacijska stranica projekta: <https://www.nsucl.com/projects>

INTERCLIM

SADRŽAJ

1. Uvod i koncept rješenja temeljenih na prirodi.....	6
1.1 Rješenja temeljena na prirodi.....	6
1.2 Koncept i kriteriji rješenja utemeljena na prirodi	8
1.3 Rješenja utemeljena na prirodi i klimatski hazardi.....	10
1.4 Prekogrančni značaj rješenja utemeljenih na prirodi	13
1.5 Tipologija rješenja utemeljena na prirodi.....	14
KORIŠTENA LITERATURA I IZVORI.....	16
2. Od ideje do provedbe: praktični vodič za primjenu rješenja temeljenih na prirodi	24
2.1. Od koncepta do dugoročnog funkcioniranja	24
2.2. Odabrana rješenja temeljena na prirodi.....	26
2.2.1. Ekstenzivni zeleni krovovi.....	26
2.2.2. Zeleni zidovi i fasade	28
2.2.3. Unutarnji zeleni zidovi	29
2.2.4. Zelene sobe	30
2.2.5. Urbano drveće, drvoređi i zeleni koridori.....	31
2.2.6. Kišni vrtovi	32
2.3. Kada teorija naiđe na praksu: što smo naučili iz provedbe NbS?	33
2.4. Od naučenih lekcija do boljeg sljedećeg projekta	34
Kontrolna lista prije početka NbS projekta	34
KORIŠTENA LITERATURA I IZVORI.....	36
3. Društvene i gospodarske koristi rješenja utemeljenih na prirodi.....	37
3.1 Uvod.....	37
3.2 Definiranje NbS-a i NbS za otpornost na klimatske promjene.....	37
3.3 Fondovi i programi Svjetske banke za NbS	38
3.4 NbS u portfelju Svjetske banke: ključni statistički podaci	39
3.5 Šest koraka za procjenu koristi i troškova NbS-a	39
3.6 Tri razine analize	40
3.7 Koristi NbS-a: definicija, tok koristi i smanjenje rizika	41
3.7.1 Tok koristi NbS-a	41
3.7.2 Dokazi o koristima od smanjenja rizika.....	41

INTERCLIM

3.7.3 Što pokazuje recenzirana znanstvena literatura.....	42
3.8 Nova radna mjesta koja stvaraju NbS.....	42
3.9 Vrednovanje koristi u odnosu na troškove: okvir za donošenje odluka	43
3.10 Vrednovanje koristi od smanjenja rizika u četiri koraka	45
3.11 Alternativni pristupi i vrednovanje drugih koristi.....	45
3.12 Pokazatelji NbS-a i rezultati Svjetske banke	46
3.13 Definiranje troškova NbS-a.....	47
3.14 NbS u praksi: četiri primjera gradova	48
3.15 Financiranje prirode u gradovima i zaključci	49
KORIŠTENA LITERATURA I IZVORI.....	50
4. Energetska učinkovitost i opći doprinos objektima	52
4.1 Uvod.....	52
4.2 NbS i energetska učinkovitost zgrada	53
4.2.1 Od energetski učinkovite prema klimatski otpornoj zgradi.....	53
4.2.2 Rješenja temeljena na prirodi kao dio energetske učinkovitosti	53
4.2.3 Mehanizmi djelovanja NbS-a na zgradu	54
4.2.4 Od zgrade do urbane mikroklike.....	55
4.2.5 Integrirani pristup energetske učinkovitosti i NbS-u	56
4.3 Tehnički, ekonomski, društveni i klimatski aspekti primjene NbS-a.....	56
4.3.1. Doprinos građevnih materijala i energetski učinkovitih rješenja održivosti zgrada	56
4.3.2. Troškovi i ekonomska opravdanost.....	59
4.3.3 Društvene koristi i kvaliteta života.....	61
4.3.4 NbS kao dio prilagodbe klimatskim promjenama.....	62
4.3.5 Od pilot-projekta prema široj primjeni	62
4.4 Zaključak.....	64
KORIŠTENA LITERATURA I IZVORI.....	65

INTERCLIM**Napomena**

„Ova publikacija izrađena je uz potporu Europske unije. Za sadržaj ove publikacije isključivo je odgovorno Sveučilište u Novom Sadu, Prirodoslovno-matematički fakultet (UNSPMF) te on ne odražava službeno mišljenje Europske unije.”

Disclaimer

“This publication has been produced with the assistance of the European Union. The contents of this publication are the sole responsibility of the University of Novi Sad, Faculty of Sciences (UNSPMF) and can in no way be taken to reflect the views of the European Union.”

INTERCLIM

1. Uvod i koncept rješenja temeljenih na prirodi

1.1 Rješenja temeljena na prirodi

Urbanizacija danas predstavlja jedan od glavnih izazova za društvo u kontekstu klimatskih promjena (Humbal i suradnici, 2023). Širenje gradova dovelo je do smanjenja zelenih površina (Savić i suradnici, 2023) i degradacije biodiverziteta (Song i suradnici, 2020), istovremeno povećavajući količinu betona i asfalta (Oke, 1982; Choi i suradnici, 2012). Osim toga, visoke temperature, produljeni toplinski valovi, učestala pojava tropskih noći, oluje i druge posljedice povezane sa urbanizacijom i klimatskim promjenama doprinose toplinskoj nelagodi i zdravstvenim problemima u urbanim područjima (Fischer i suradnici, 2012). U tom kontekstu, jedno od sve više prepoznatih pristupa za suočavanje sa izazovima povezanim sa klimatskim promjenama jesu rješenja utemeljena na prirodi (Nature-based Solutions – NbS), koja koriste prirodne procese za ublažavanje utjecaja urbanih sredina na okoliš.

Koncept prirodnih rješenja prvi put se spominje 2008. godine (MacKinnon i suradnici, 2008), a tijekom godina se razvijao i inovirao na različite načine. Pristupi su se mijenjali, od ideja do općih rješenja za upravljanje prirodnim sustavima. Tijekom godina postojale su poteškoće u definiranju NbS-a zbog njegovog stalnog razvoja. Europska komisija je 2015. godine definirala NbS kao „aktivnosti inspirirane prirodom, poduprte prirodom ili utemeljene na principima koji postoje u prirodi...” (Bauduceau i suradnici, 2015), dok je Međunarodna unija za zaštitu prirode (IUCN) 2020. godine definirala NbS kao „aktivnosti usmjerene na zaštitu, održivo korištenje, upravljanje i obnovu prirodnih ili izmijenjenih ekosustava, koje se na učinkovit i prilagodljiv način bave društvenim

izazovima, istovremeno osiguravajući dobrobit ljudi i koristi za biodiverzitet”.

Najnovija definicija iz 2022. godine potiče iz Rezolucije 5/5 Skupštine Ujedinjenih naroda za okoliš (UNEA), kojom se NbS definiraju kao „aktivnosti usmjerene na zaštitu, očuvanje, obnovu, održivo korištenje i upravljanje prirodnim ili izmijenjenim kopnenim, slatkovodnim, obalnim i morskim ekosustavima, koje se na učinkovit i prilagodljiv način bave društvenim, gospodarskim i ekološkim izazovima, istovremeno osiguravajući dobrobit ljudi, usluge ekosustava, otpornost i koristi za biodiverzitet” (United Nations Environment Programme [UNEP], 2022).

Interes za NbS raste tijekom posljednje decenije, potvrđujući potrebu za prilagodbom klimatskim promjenama i njihovim ublažavanjem. Provedene ili predložene aktivnosti uglavnom se odnose na tri ključna aspekta: očuvanje biodiverziteta, ublažavanje i prilagodba klimatskim promjenama i zaštitu zdravlja stanovništva. NbS se često smatraju intervencijama s niskim troškovima koje donose značajne koristi i za društvo i za prirodu (Seddon i suradnici, 2020), međutim, njihova učinkovitost varira između regija ovisno o prisutnim opasnostima, kao i političkog, gospodarskog i društvenog konteksta.

Efikasnost NbS-a najčešće se pokazuje kroz hlađenje urbanih sredina (Soltanifard i suradnici, 2024; Soltanifard & Amani-Beni, 2025; Wei i suradnici, 2025), smanjenje rizika od poplava (Pagano i suradnici, 2019), unaprjeđenje javnog zdravlja (Van den Bosch & Sang, 2017; Kabisch i suradnici, 2017) i smanjenje onečišćenja zraka

INTERCLIM

(Marando i suradnici, 2016; Menon & Sharma, 2021; Petrova i suradnici, 2024). Osim ovih fizičkih koristi, izloženost NbS-a može pridonijeti i mentalnom zdravlju. Kabisch i suradnici (2023) navode da kontakt s prirodom može smanjiti rizik od depresije i šizofrenije. Stoga NbS treba razmatrati i iz šire perspektive, uzimajući u obzir potrebe različitih ciljnih grupa (Seddon i suradnici, 2020).

Danas, prema podacima Svjetske banke (World Bank Group, WBG), urbano stanovništvo čini 58 % ukupnog stanovništva (pristupljeno 19. maja 2026. godine). Prema podacima Ujedinjenih nacija (UN), očekuje se da će urbano stanovništvo nastaviti da raste i dostići 68 % do 2030. godine (UN, 2022), što predstavlja povećanje od 10 % u razdoblju od četiri godine. Kontinuirano širenje urbanih područja pridonosi promjenama okoliša na lokalnoj i globalnoj razini, što potencijalno može dovesti do viših temperatura uslijed promjena albeda i urbane geometrije u odnosu na ruralna područja (Oke, 1982). Ovo pridonosi pojavi urbanog toplotnog ostrva (Urban Heat Island – UHI) (Kleerekoper i suradnici, 2012), koju karakterišu više temperature u urbanim u odnosu na ruralna područja. Ova pojava dodatno pojačava toplinski stres i utječe na ljude koji žive u urbanim sredinama (Kleerekoper i suradnici, 2012). Termalni komfor u gradovima sve je više narušen toplinskim stresom, što dovodi do sve većeg broja smrtnih slučajeva i hospitalizacija povezanih sa visokim temperaturama u urbanim područjima (Oleson i suradnici, 2015). Ovi utjecaji ukazuju na potrebu za mjerama koje mogu smanjiti rizike povezane sa visokim temperaturama u urbanim područjima. NbS mogu predstavljati jedan od mogućih pristupa, jer osiguravaju usluge ekosustava i mogu pridonijeti poboljšanju urbane mikroklimе.

Osim širenja gradova, značajno ograničenje kvaliteta života predstavlja i povećanje razine onečišćenja (industrija, saobraćaj i dr.), koje direktno pridonosi emisiji plinova sa efektom staklene vrtovi (GHG). To dovodi do porasta temperatura i dodatno pojačava utjecaje klimatskih promjena u urbanim područjima. Urbana područja odgovorna su za više od 70 % globalnih emisija plinova sa efektom staklene vrtovi (GHG), iako zauzimaju svega oko 2 % kopnene površine Zemlje (UN-Habitat, 2011). Uslove i posljedice klimatskih promjena najizraženije osjećaju stanovnici područja s nedovoljno razvijenom infrastrukturom i ograničenom institucionalnom podrškom, posebno sa porastom broja stanovnika u gradovima (Dodman, 2009). Osim toga, posljedice se odražavaju i na ostatak svijeta, što dodatno pridonosi klimatskoj nepravdi (Zhang i suradnici, 2023).

Uprkos sve većem broju istraživanja o NbS-u, i dalje postoji značajan nedostatak saznanja o načinu njihove primjene u različitim društveno-prostornim i upravljačkim kontekstima, posebno u prekograničnim regijama, gdje se administrativni sustavi, planski okviri i politike zaštite okoliša mogu značajno razlikovati.

U kontekstu jugoistočne Evrope, a posebno prekograničnog regije Hrvatske i Srbije, urbana područja suočavaju se sa sličnim izazovima povezanim sa klimatskim promjenama, kao što su rizik od poplava, toplinski stres i suše, ali često nedostaju koordinirani pristupi primjeni NbS-a preko državnih granica.

Stoga je cilj ovog istraživanja da razvije praktične smjernice za primjenu NbS-a u prilagođavanju klimatskim hazardima u prekograničnoj regiji Hrvatske i Srbije. Istraživanjem se analiziraju klimatski

INTERCLIM

hazardi, vrste NbS-a i primijenjene mjere, kao i njihovi socio-gospodarski utjecaji i doprinos energetske učinkovitosti zgrada. Takođe se ispituje na koji način NbS mogu pridonijeti urbanoj otpornosti, smanjenju klimatskih rizika i energetske učinkovitosti zgrada.

1.2 Koncept i kriteriji rješenja utemeljena na prirodi

Međunarodna unija za zaštitu prirode (IUCN) ističe da bi se oko 30 % mjera ublažavanja potrebnih do 2030. godine za ograničavanje porasta temperature na manje od 2 °C moglo ostvariti primjenom isplativih NbS-a (IUCN, 2020). Imajući to u vidu, priroda ima ključnu ulogu u zadovoljavanju potreba društva, zbog čega je važno zaštititi je, ublažiti negativne utjecaje na nju i učiniti je sastavnim dijelom našeg života (Dunlop i suradnici, 2024). Stoga IUCN definira standarde koje treba uzeti u obzir prilikom planiranja i primjene NbS-a.

Standardi IUCN-a (2020; 2026) definiraju osam kriterija koje NbS treba da ispune kako bi se osigurale njihova održivost i učinkovitost. Ovi kriteriji usmjereni su na rješavanje društvenih izazova, uz istovremeno uvažavanje biodiverziteta, gospodarske opravdanosti, upravljanja, mogućih kompromisa, mogućnosti prilagođavanja i dugoročne održivosti.

U nastavku su predstavljeni ovi kriteriji IUCN-a i njihova povezanost sa primjenom NbS-a.

Rješavanje društvenih izazova podrazumeva suočavanje sa brojnim međusobno povezanim problemima i izazovima koji se razlikuju među regijama. Mutegi i suradnici (2018) dokumentovali su jedan od takvih izazova, pokazujući da klimatske promjene utječu na prinose poljoprivrednih kultura u

podсахarskoj Africi kroz degradaciju zemljišta i smanjenu sposobnost useva da se prilagode promjenama u uvjetima okoliša. Osim toga, istraživanje provedeno u Philadelphiji ukazalo je na povezanost smanjenja zelenih površina, siromaštva, smrtnosti i kardiovaskularnih bolesti. Zelene površine mogu pružiti značajne koristi stanovništvu s niskim prihodima koje nije u mogućnosti da priušti klimatizaciju tijekom razdoblja ekstremnih vrućina (Schinasi i suradnici, 2023). Ovi socio-gospodarski izazovi potencijalno se mogu ublažiti primjenom odgovarajućih i dobro planiranih NbS-a, čime se može pridonijeti poboljšanju kvaliteta života i produženju očekivanog životnog veka.

Saradnja između ljudi i različitih sektora (npr. informacionih tehnologija, inženjerstva i financija) također je važna, jer NbS ne mogu uvijek samostalno ili kada se primjenjuju na veoma malom prostoru da odgovore na izazove povezane sa klimatskim promjenama. Primjer iz Škotske pokazuje ova ograničenja, gdje je intervencija utemeljena na NbS-u, usmjerena na kontrolu erozije i klizišta primjenom živih rešetki i živih potpornih konstrukcija, oštećena uslijed intenzivnih oborina i jakih vetrova, nakon čega je izvođač radova odbio da izvrši popravku. Ovaj primjer ukazuje na probleme povezane sa projektovanjem, koordinacijom i saradnjom i ukazuje na potrebu za boljim planiranjem i suradnjom tijekom primjene NbS-a (Mickovski i suradnici, 2024).

Seddon i suradnici (2021) dodatno ukazuju na nedostatak sinergije između ključnih ciljeva NbS-a, pri čemu je važno da NbS doprinose dobrobiti stanovništva, ublažavanju i prilagođavanju klimatskim promjenama, kao i zaštiti biodiverziteta. Problemi nastaju kada ovi kriteriji nisu ispunjeni i kada se intervencije usmjeravaju samo na jedan cilj, umesto na međusobno povezane izazove. Na primjer, NbS koji su

INTERCLIM

prvenstveno namenjeni hlađenju urbanih sredina i unaprjeđenju javnog zdravlja može negativno utjecati na biodiverzitet ukoliko se koriste alohtone vrste. Debele i suradnici (2023) analizirali su više od 500 studija o NbS-u i utvrdili da se više od polovine primijenjenih NbS-a odnosi na prirodne hazarde, dok je manje od 40 % usmjereno i na socio-gospodarske izazove, što ukazuje na neravnotežu u prioritetima njihove primjene. Ovi primjeri pokazuju zbog čega NbS treba da obuhvate više ciljeva i sektora, umesto da budu usmjerene samo na jedan problem.

Osim toga, prilikom planiranja primjene NbS-a na određenom području, veoma je važno osloniti se na postojeći ekosustav. Potrebno je procijeniti i utvrditi trenutačno stanje područja, kao i njegovu povezanost sa okolnim ekosustavima, kako bi se osigurala što uspješnija primjena odgovarajućih NbS. Takođe je važno periodično pratiti i mjeriti pozitivne efekte NbS-a nakon njihove primjene i utvrditi da li su pridonijele unaprjeđenju ekosustava ili izazvale određene negativne posljedice unutar njega. Projektovanje NbS-a treba da bude što više usklađeno sa postojećim ekosistemom. Préau i suradnici (2022) daju primjer koji dobro ilustruje ovaj kriterij, pokazujući da izgrađena močvarna staništa imaju veliki potencijal za unaprjeđenje povezanosti ekosustava, jer osiguravaju različita mesta za razmnožavanje divljih vrsta.

Primjena NbS-a predstavlja proces koji započinje identifikovanjem problema i utvrđivanjem kome NbS donose koristi. Nakon toga, potrebno je procijeniti troškove i finansijsku opravdanost kako bi se odabrala realna i dugoročno održiva opcija, s ciljem da NbS budu efikasnije i isplativije od konvencionalnih inženjerskih pristupa. Le Coent i suradnici (2021) na primjerima Braguea u Francuskoj i Rotterdama u Holandiji pokazuju da je primjena NbS-a isplativija u

odnosu na konvencionalna „siva” ili hibridna rješenja, ali također ukazuju na to da NbS s niskim troškovima, poput zelenih krovova u Lezu u Francuskoj, imaju ograničenu učinkovitost zbog malog kapaciteta za zadržavanje vode. Stoga je važno odabrati najpogodniju vrstu NbS-a s aspekta finansijske opravdanosti, koristi i mogućnosti primjene, iako je često teško istovremeno uzeti u obzir sve ove aspekte.

Transparentnost i vidljivost imaju veliki značaj u primjeni NbS-a i razmatranju mogućih kompromisa. Svako treba da ima mogućnost da iznese svoje mišljenje i bude uključen u proces, čime se osigurava ravnopravno sudjelovanje svih zainteresiranih strana na koje projekat utječe, uključujući lokalne zajednice. Donošenje odluka mora biti transparentno, a kada se NbS primjenjuju na većim teritorijama, potrebno je zajedničko donošenje odluka svih relevantnih dionika. Takođe je važno osigurati zaštitu prava na zemljište i prirodne resurse, kao i redovno preispitivati mjere zaštite i moguće kompromise.

Praćenje koristi i nedostataka NbS-a važno je kako bi se utvrdilo je li intervencijom ostvaren predviđeni cilj. Jedan od značajnih problema istakli su Veldman i suradnici (2015), ukazujući na slučajeve pogrešne identifikacije područja, pri čemu je oko 9 miliona km² drevnih travnatih bioma označeno kao pogodno za pošumljavanje i obnovu, iako bi podizanje novih šuma na travnjacima, savanama i ekosustavima sa rjeđe raspoređenim krošnjama drveća imalo ozbiljne posljedice po biodiverzitet. Osim toga, sve šume nemaju isti potencijal za ublažavanje klimatskih promjena, niti su podjednako učinkovite u tom pogledu. Seddon i suradnici (2020) navode da su autohtone šume koje se prirodno obnavljaju uglavnom efikasnije u dugoročnom

INTERCLIM

skladištenju CO₂ u odnosu na novozasađene ili manje raznovrsne šume. Stoga je važno pratiti promjene u ekosistemu i potencijalne promjene biodiverziteta u okviru NbS-a i na njih odgovarajuće reagovati.

IUCN je 2026. godine objavio drugo izdanje dokumenta, koje donosi nekoliko izmjena. Drugo izdanje ne menja osnovne teme standarda i kriterija NbS-a, već pomera fokus sa principa na njihovu primjenu. Prvo izdanje je više konceptualno i objašnjava šta bi NbS u celini trebalo da postignu, uključujući rješavanje društvenih izazova, uključivanje različitih dionika i upravljanje, očuvanje biodiverziteta, gospodarsku opravdanost, mogućnosti prilagođavanja i dugoročnu održivost. Drugo izdanje ove principe razrađuje na operativnijem razini i pretvara ih u konkretnije zahteve koji se mogu mjeriti, dokumentovati i procjenjivati u praksi. Poseban naglasak stavljen je na praćenje, procjenu zasnovanu na dokazima, upravljanje rizicima, moguće kompromise, kao i na povezivanje društvenih, gospodarskih i ekoloških sustava u procesu projektiranja i primjene NbS-a (Le Gouvello i suradnici, 2023).

Ovakvi standardi su veoma važni za usklađivanje pristupa NbS-a, kako bi se povećali njihovi učinci i koristi za lokalne zajednice i područja. Iako je primjena ovih standarda i dalje ograničena, bilo zbog finansijskih ograničenja ili usmjerenosti na ostvarivanje samo jedne koristi, njihov stvarni stupanj primjene i dalje je teško jasno procijeniti. Stoga je nužno ispuniti sve relevantne kriterijume kako bi NbS u praksi ostvarila očekivane koristi.

1.3 Rješenja utemeljena na prirodi i klimatski hazardi

Kao što je prethodno navedeno, koncept NbS-a treba da ispuni sve kriterijume

koje je definirao IUCN kako bi bio u potpunosti primjenjiv i učinkovit. Međutim, kada se NbS koriste za rješavanje problema povezanih sa urbanizacijom ili klimatskim hazardima, mogu pružiti koristi i ljudima i okolišu. Stoga jedna NbS intervencija može pridonijeti smanjenju više hazarda istovremeno.

Kako hidrološki i geološki hazardi postaju sve izraženiji, važno je uzeti u obzir i druge hazarde, kao što su klimatološki i meteorološki hazardi, požari i hazardi povezani sa životnom sredinom (Slika 1). Neki od ovih hazarda mogu se smanjiti primjenom NbS-a. Kako su problemi poput toplinskih valova, poplava, klizišta, promjena režima oborina i drugih povezanih hazarda (Slika 2) tijekom godina postajali sve izraženiji, NbS predstavljaju veoma važnu mjeru za unaprjeđenje kvaliteta života. Međutim, pristupi, prostorna raspodjela i troškovi nisu podjednako zastupljeni svuda, što stvara određene izazove.

♣ Slika 1. Povezanost prirodnih hazarda i rizici koji se mogu smanjiti primjenom NbS-a



Izvor: UNDRR & Dadvar, 2020; Debele i suradnici, 2023

INTERCLIM

Debele i suradnici (2023) prikazuju rezultate sistematskog pregleda globalne raspodjele NbS-a, njihovih lokacija, kao i vrsta primijenjenih NbS-a. Rezultati pokazuju da je više od 60% NbS-a pretežno locirano u Evropi, iako Azija ima četiri puta veći broj stanovnika. Osim toga, pokazano je da se, među hidrološko-klimatološkim hazardima, više od 40 % NbS-a bavi hidrološkim/geološkim problemima, manje od 30 % meteorološkim/klimatološkim, dok se manji broj odnosi na hazarde životne sredine i požare. Takođe je zaključeno da su najveći hazardi kojima treba posvetiti pažnju poplave (riječne, bujične, urbane i obalne), zatim erozija zemljišta, suše, toplinski valovi, olujni valovi i dr. Rezultati pokazuju da se NbS uglavnom primjenjuju za neke od najštetnijih prirodnih hazarda, posebno poplave. Studija također naglašava značaj istovremenog rješavanja više hazarda.

Kao jedan od najštetnijih hazarda, poplave treba rešavati iz brojnih razloga, jer narušavaju funkcionisanje osnovnih usluga i infrastrukture, imaju socio-gospodarske posljedice, dovode do oštećenja stambenih i poslovnih objekata i izazivaju fizičke i mentalne zdravstvene probleme (kao što su kontaminacija, posttraumatski stresni poremećaj i smrtni ishodi), dok urbanizacija, rast broja stanovnika i povećan rizik od poplava dodatno doprinose ovom problemu. Različite studije prikazuju različite primjere primjene NbS-a, kao što su obnova aluvijalne plavne ravni u Belgiji radi smanjenja rizika od poplava (Turkelboom i suradnici, 2021), korištenje krupnog drvnog materijala, prepreka za usmjeravanje toka, zatrpavanje jaruga i zemljanih nasipa za upravljanje poplavama u Cotswoldsu u Ujedinjenom Kraljevstvu (Short i suradnici, 2019), različite tehnike utemeljene na vegetaciji u Guangzhouu u Kini (Su i suradnici, 2024),

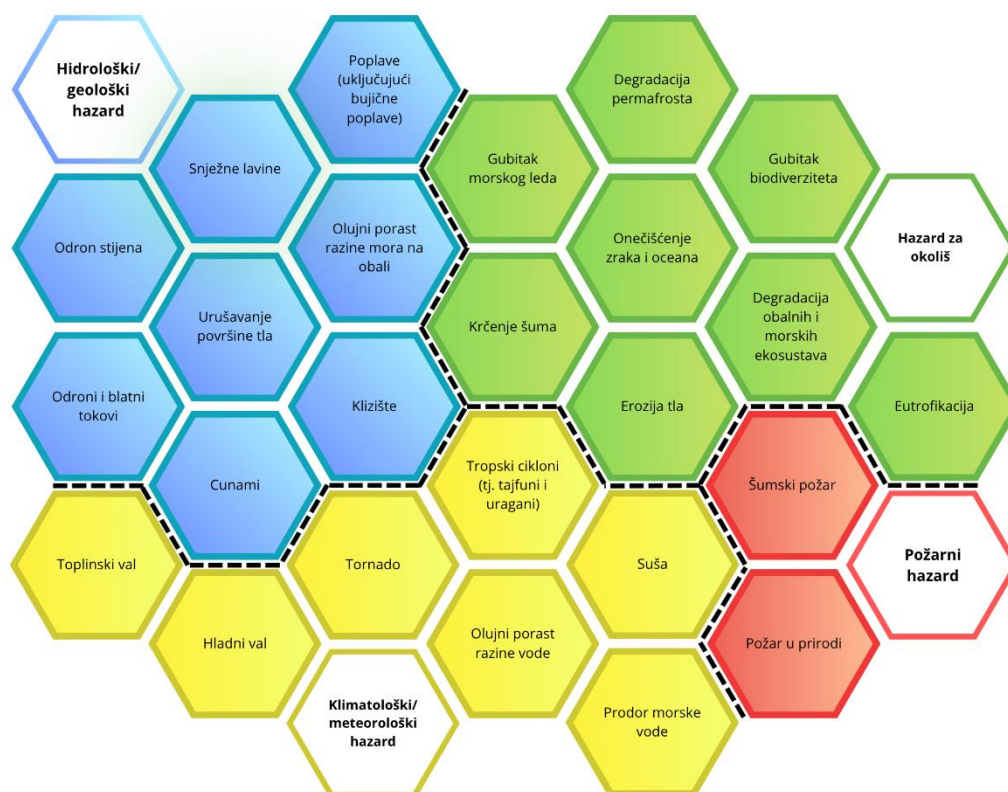
kišni vrtovi u Ayutthayi na Tajlandu (Vojinovic i suradnici, 2021) i dr.

Osim toga, gubitak i degradacija zemljišta, često dodatno pogoršani klizištima i erozijom izazvanim oborinama, mogu značajno utjecati na strukturu i stabilnost zemljišta, što u krajnjoj liniji ugrožava opskrba ljudskih zajednica osnovnim namirnicama i resursima. Gonzalez-Ollauri (2022) navodi da je vegetacija ključni element NbS intervencija u rešavanju ovog hazarda, dok Deljouei i suradnici (2026) ističu da, osim vegetacije, korištenje zemljišta i prirodnih materijala može smanjiti rizik od erozije i poboljšati otpornost padina. Apollonio i suradnici (2021) navode da su, u cilju smanjenja erozije i sprječavanja gubitka zemljišta, dužina i čvrstoća korenovog sustava biljaka važni faktori, pri čemu je minimalna efektivna visina vegetacije 30 cm, dok se maksimalna učinkovitost postiže pri visini od oko 70 cm, uz značajno smanjenje erodiranog materijala i površinskog otjecaja u usporedbi sa uvjetima na ogoljenom zemljištu.

Osim toga, suše postaju sve učestalije, dugotrajnije i predstavljaju sve ozbiljniju posljedicu klimatskih promjena (Sintayehu i suradnici, 2023; Pandit i suradnici, 2024). Suše predstavljaju velike izazove za stanovništvo, dostupnost hrane i funkcionisanje različitih sustava i gospodarskih delatnosti, ali se i dalje uglavnom potcenjuju kao hazard. Problem suša mnogo je veći nego što se uobičajeno smatra, a rješenja nisu ni jednostavna ni jeftina. Yimer i suradnici (2024) navode da, kada je reč o hazardima poput suša, NbS koje se primjenjuju na lokalnom razini nisu dovoljne i da su nužne i NbS intervencije na širem prostornom razini. Sa druge strane, u Teheranu se NbS rješenja kombinuju sa tehnološkim pristupima kako bi se postiglo efikasnije upravljanje sušama (Saboonchi, 2025).

INTERCLIM

♣ Slika 2. Tipovi hazarda relevantnih za primjenu NbS-a, grupisani na: (a) hidrološke/geološke hazarde, (b) klimatološke/meteorološke hazarde, (c) hazarde okoliša i (d) hazarde povezane sa požarima.



Izvor: UNDRR & Dadvar, 2020; Debele i suradnici, 2023

Tijekom godina, utjecaji toplinskih valova postaju sve izraženiji među stanovništvom, posebno u urbanim područjima. Ziter i suradnici (2019) naglašavaju potrebu za povećanjem zastupljenosti drveća kako bi se ublažile dnevne temperature i unapredilo javno zdravlje, zaključujući da pokrivenost krošnjama veća od 40 % omogućuje najveće smanjenje temperature. Slično tome, Alonzo i suradnici (2025) navode da u velikom broju studija urbano drveće ima značajnu ulogu u smanjenju toplinskog stresa. Pored toga, tropske noći su posljednjih godina postale sve izraženije jer se procesi hlađenja odlažu, dok se zadržavanje topline pojačava uslijed betonskih površina (Locke i suradnici, 2024),

što negativno utječe na dobrobit stanovništva (Wanner i suradnici, 2026). Fojutowski (2025) navodi da je u gradovima u poljskim provincijama tijekom prethodne decenije zabilježeno približno deset puta više tropskih noći u usporedbi sa 1950. godinom. Jedna studija iz Centralne Evrope preporučuje primjenu NbS-a prvenstveno kroz zelene koridore u urbanim dijelovima Beča i ozelenjavanje ulica u Budimpešti, osobito u prigradskim područjima, gdje su utvrđeni veći toplinski stres i snažna podrška javnosti zelenoj infrastrukturi (Alice i suradnici, 2026).

Sve hazarde važno je rešavati bez izuzetka, čak i kada ne utječu na veliki broj stanovnika. Svaki regija ili lokalna zajednica

INTERCLIM

suočava se sa specifičnim hazardima koji utječu na njihovu teritoriju, zbog čega je potrebno pridavati jednak značaj svima. Hazardi su sve više međusobno povezani i od suštinskog je značaja kombinovati različite pristupe u njihovom rešavanju kroz NbS. Iako su navedene grupe hazarda relativno rasprostranjene i reprezentativne na globalnom razini, one i dalje utječu na veliki broj stanovnika. Pojedini regije mogu biti više ugroženi sve intenzivnijim oborinama i olujama koje utječu na bezbednost i zdravlje stanovništva, dok drugi mogu biti više pogođeni učestalim toplinskim valovima i tropskim noćima koje utječu na zdravlje ljudi. Stoga se ovakvim problemima ne bi trebalo pristupati zanemarujući njihov značaj, koji se ogleda i u saradnji između institucija i lokalnih zajednica, kao i u razvoju troškovno efikasnih rješenja.

1.4 Prekogranični značaj rješenja utemeljenih na prirodi

Stanovništvo istočne i jugoistočne Evrope također je sve više pogođeno klimatskim promjenama i urbanizacijom. Prema globalnom standardu ekstremnih klimatskih i hidroloških hazarda (Debele i suradnici, 2023), zemlje ovog regije suočavaju se sa istim glavnim problemom, a to su poplave (Pazzi i suradnici, 2016; Leščešen i suradnici, 2019; Ugarković i suradnici, 2020; Kapović Solomun i suradnici, 2021; Potočki i suradnici, 2021). Poplave predstavljaju najizraženiji klimatsko-hidrološki hazard, koji izaziva velika oštećenja infrastrukture, industrije, poljoprivrede i drugih sektora. Velike poplave iz 2014. godine, koje su pogodile Srbiju, Hrvatsku i Bosnu i Hercegovinu, dovele su do značajnih razaranja širom regije (Stadtherr i suradnici, 2019; Kapović Solomun i suradnici, 2025). U julu 2023.

godine, jugoistočna Evropa ponovno se suočila sa ozbiljnim posledicama izazvanim ekstremnim olujnim događajem (Mrkonjić, 2025), koji je doveo do brojnih urbanih poplava, posebno u gusto izgrađenim urbanim područjima.

Osim poplava, suše i toplinski valovi također predstavljaju važne hazarde koji doprinose značajnim štetama. Kovacevic i suradnici (2012) navode da se količina oborina u Srbiji smanjila za čak 20% tijekom prethodnih nekoliko decenija, pri čemu su ove promjene zabilježene u sjevernoj, središnjoj, istočnoj i južnoj Srbiji. Osim toga, suše spadaju među hazarde odgovorne za najveće gospodarske gubitke, posebno u poljoprivrednom sektoru (Merkoci i suradnici, 2012; Perčec Tadić i suradnici, 2014). Suše također negativno utječu na egzistenciju stanovništva i zaštitu okoliša (Papić, 2025).

Toplotni valovi predstavljaju još jedan hazard koji ne bi trebalo zanemariti, posebno zbog njihovog utjecaja na zdravlje ljudi. Savić i suradnici (2018) navode da u Novom Sadu gustoća izgrađenosti značajno utječe na rizik od smrtnosti, pri čemu gusto izgrađena područja pokazuju veoma visok ili visok razina rizika od smrtnosti tijekom toplinskih valova. Osim toga, Đurđević i suradnici (2023) ukazuju da tijekom toplinskih valova najnaseljeniji gradovi u Srbiji beleže opasne i ekstremne uslove toplinskog stresa. Istraživanja u Hrvatskoj također ukazuju da produženi toplinski valovi povećavaju stopu smrtnosti tijekom prva tri do pet dana, dok duži događaji mogu dovesti do odloženih efekata na smrtnost (Zaninović & Matzarakis, 2014).

Iako ovi hazardi pogađaju čitav regija, pristupi njihovom rešavanju primjenom NbS-a razlikuju se među državama. Glavne razlike između Bosne i Hercegovine,

INTERCLIM

Srbije, Albanije i Hrvatske odnose se na institucionalnu organizaciju, razina integracije NbS-a i usklađenost sa propisima EU. Hrvatska ima najrazvijeniji i najusklađeniji okvir, Bosna i Hercegovina najfragmentisaniji sustav, dok Srbija primjenjuje NbS implicitno kroz sektorske politike, a Albanija napreduje sporije zbog reformi koje su u tijeku. Jedna od ključnih prepreka jeste to što Hrvatska formalno prepoznaje i uključuje NbS u svoj pravni i strateški okvir, dok Srbija primjenjuje slične mjere bez njihovog eksplicitnog definiranja kao NbS (Kapović Solomun i suradnici, 2025). Ipak, povezivanje regije i primjena istih vrsta NbS-a koje podupiru stanovništvo, uz njihovu doslednu primjenu i praćenje, ostaju od ključnog značaja.

Teritorije Hrvatske i Srbije suočavaju se sa istim hazardima povezanim sa vremenskim uvjetima u regiji, pri čemu su poplave u glavnom fokusu. U obe zemlje već su primijenjene različite ideje i rješenja, kao što su kišni vrtovi u privatnim stambenim područjima u Kaću u Srbiji (Greksa i suradnici, 2023a, 2023b), kao i velika prirodna retencijska područja, uključujući Lonjsko polje, Kopački rit i poplavne ravni Drave u Hrvatskoj (Potočki i suradnici, 2021). Nekoliko studija ispitalo je mogućnosti primjene NbS-a u Hrvatskoj i Srbiji. Grabić i suradnici (2025) jasno pokazuju da potencijal za primjenu postoji na više od polovice ukupnog teritorija AP Vojvodine, dok se više od 14 % teritorije smatra veoma pogodnim za primjenu NbS-a. U Hrvatskoj, Jutrović i suradnici (2023) identifikuju nekoliko lokacija na kojima se plava i zelena infrastruktura može primijeniti duž potoka Medveščak i Črnomerec u Zagrebu, uključujući mjere kao što su zadržavanje i pročišćavanje vode. Snažna regijelna saradnja može se uočiti u radu Savić i suradnici (2024), u kojem su NbS primijenjena u Novom Sadu u Srbiji i Osijeku

u Hrvatskoj kroz horizontalnu zelenu infrastrukturu, s ciljem ublažavanja utjecaja klimatskih promjena na stanovništvo, uz istovremeno smanjenje potreba zgrada za energijom. Ovi rezultati ukazuju na veliki potencijal NbS-a za koordinisanu prekograničnu primjenu u rešavanju zajedničkih klimatskih hazarda.

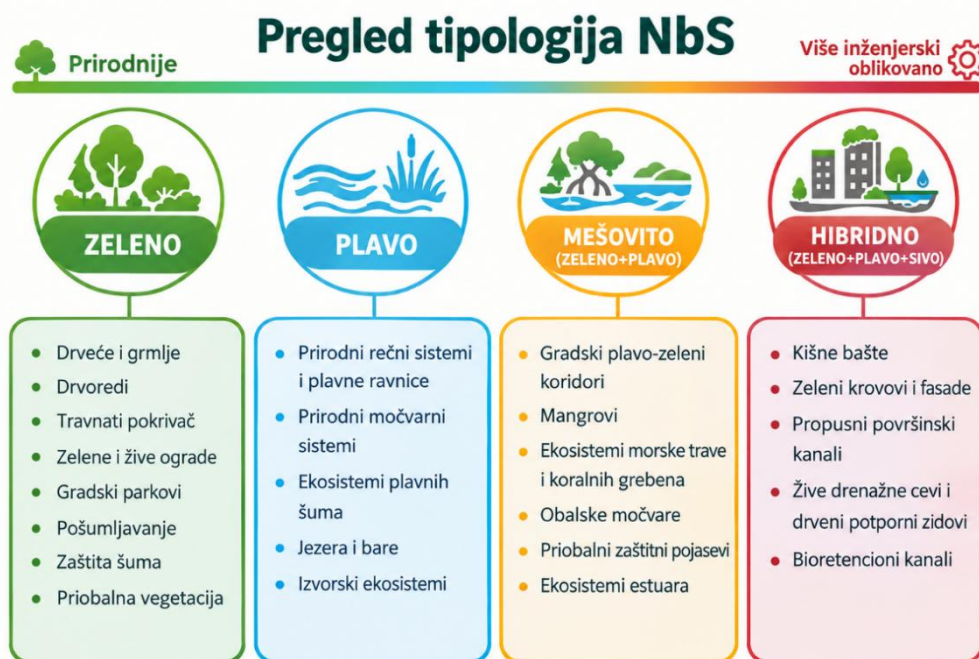
1.5 Tipologija rješenja utemeljena na prirodi

Tipologija prirodnih rješenja veoma je široka i gotovo nikada nije strogo definirana, jer se nove ideje i studije slučaja pojavljuju gotovo svakodnevno i kontinuirano razvijaju tijekom vremena. Ono što je zajedničko različitim klasifikacijama NbS-a jesu slični pristupi, poput uključivanja samo zelene i plave infrastrukture (Pinto i suradnici, 2023), ili integracije plave, zelene i sive infrastrukture (Depietri & McPhearson, 2017). Na primjer, Debele i suradnici (2023) prikazuju širok spektar grupa i tipova NbS-a, uključujući zelenu i plavu infrastrukturu, kao i mješovite (plava + zelena) i hibridne (zelena + plava + siva) pristupe (Slika 3). Sa druge strane, postoji i detaljnija klasifikacija u kojoj hibridne kategorije obuhvaćaju, na primjer, plavu + sivu ili zelenu + sivu infrastrukturu (Esraz-Ul-Zannat i suradnici, 2024).

U skladu sa tim, postoji više klasifikacija NbS-a, koje se kreću od prirodnijih pristupa, kao što je jednostavna sadnja drveća, do onih koji zahtevaju inženjerske intervencije, kao što su retencionni bazeni za kontrolu poplava. Svaki od ovih pristupa ima svoju ulogu i trenutačno predstavlja najnaprednije moguće rješenje u okviru određenih studija slučaja, koje se vremenom može dodatno unapređivati.

INTERCLIM

♣ Slika 3. Pregled tipologija NbS-a: zeleni, plavi, mješoviti i hibridni tip infrastrukture



Izvor: Debele i suradnici, 2023

NbS mogu pridonijeti ublažavanju sve učestalijih opasnosti. Esraz-Ul-Zannat i suradnici (2024) utvrđuju da među najefikasnije NbS za ublažavanje rizika od poplava spadaju propusne površine i sustavi za prikupljanje kišnice, koji pokazuju značajno smanjenje površinskog otjecaja i vršnih protoka, posebno na lokalnom i urbanom razini, dok kombinovani pristupi NbS-a uglavnom daju bolje rezultate od pojedinačnih intervencija. Nasuprot tome, za nekoliko mjera, kao što su zeleni zidovi, zelene ulice, pješčani filtri (filtri u kojima se voda prečišćava prolaskom kroz sloj peska) i urbana poljoprivreda, postoji malo ili nimalo kvantitativnih dokaza o njihovoj učinkovitosti u ublažavanju rizika od poplava, pri čemu mnoge studije naglašavaju njihove multifunkcionalne koristi, a ne direktne hidrološke efekte. Mohite i suradnici (2026)

navode da NbS, kao što su urbano zelenilo, zeleni krovovi i obnova močvarnih staništa, mogu smanjiti temperature za do 5 °C, ali da njihovu primjenu ograničavaju dostupnost zemljišta i izazovi povezani sa upravljanjem. Penning i suradnici (2023) također ističu da NbS koje povećavaju sposobnost krajobrazda da zadrži vodu, odnosno njegovu funkciju „sundera”, mogu istovremeno smanjiti rizik od poplava i suša, uz koristi i za prirodu i za ljude. Međutim, problem i dalje predstavlja činjenica da ova rješenja još nisu ujednačeno procijenjena u različitim kontekstima i da često nedostaju dugoročni podaci, posebno kada se razmatraju njihovi kombinovani učinci na poplave, suše i biodiverzitet.

Na osnovu navedenih primjera može se zaključiti da ne postoji jedinstveni univerzalni model NbS-a koji može odgovoriti na određeni hazard, jer je često potrebno istovremeno uzeti u obzir više hazarda, kao i druš-

INTERCLIM

tvne, gospodarske, prostorne i geografske faktore. Izbor odgovarajućeg NbS-a za određeni grad može biti složen. Odluka treba da se zasniva na prethodnim istraživanjima, lokalnim uvjetima i dostupnim financijskim sredstvima. Svaki grad, regija ili područje suočava se s različitim izazovima, zbog čega je ključno usmjeriti pažnju na konkretan problem, umesto razvijanja univerzalnog tipa NbS-a koji možda čak nije ni izvediv za primjenu.

Uprkos sve većem prepoznavanju značaja NbS-a, njihova primjena i dalje se suočava sa brojnim izazovima, uključujući fragmentisano upravljanje, nedostatak usklađenih metodologija, ograničena financijska sredstva i nedovoljno dugoročno praćenje. Stoga su potrebne praktične smjernice koje bi podržale doslednu primjenu NbS-a u različitim prostornim i institucionalnim kontekstima.

KORIŠTENA LITERATURA I IZVORI

Alonzo, M., Ibsen, P. C., & Locke, D. H. (2025). Urban Trees and Cooling: A Review of the Recent Literature (2018 to 2024). *Arboriculture & Urban Forestry*, 51(5), 420–444. <https://doi.org/10.48044/jauf.2025.023>

Apollonio, C., Petroselli, A., Tauro, F., Cecconi, M., Biscarini, C., Zarotti, C., & Grimaldi, S. (2021). Hillslope Erosion Mitigation: An Experimental Proof of a Nature-Based Solution. *Sustainability*, 13(11), 6058. <https://doi.org/10.3390/su13116058>

Bauduceau, N., Berry, P., Cecchi, C., Elmqvist, T., Fernandez, M., Hartig, T., ... & Tack, J. (2015). Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities: final report of the horizon 2020 expert group on nature-based solutions and re-naturing cities'. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2777/765301>

Choi, H.-A., Lee, W.-K., & Byun, W.-H. (2012). Determining the Effect of Green Spaces on Urban Heat Distribution Using Satellite Imagery. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 6(2), 127–135. <https://doi.org/10.5572/ajae.2012.6.2.127>

Debele, S. E., Leo, L. S., Kumar, P., Sahani, J., Ommer, J., Bucchignani, E., Vranić, S., Kalas, M., Amirzada, Z., Pavlova, I., Shah, M. A. R., Gonzalez-Ollauri, A., & Di Sabatino, S. (2023). Nature-based solutions can help reduce the impact of natural hazards: A global analysis of NbS case studies. *Science of The Total Environment*, 902, 165824. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165824>

Deljouei, A., Cislighi, A., & Abdi, E. (2026). Editorial: Nature-based solutions for managing soil erosion and enhancing soil stability. *Frontiers in Sustainability*, 7, 1766036. <https://doi.org/10.3389/frsus.2026.1766036>

Depietri, Y., & McPhearson, T. (2017). Integrating the Grey, Green, and Blue in Cities: Nature-Based Solutions for Climate Change Adaptation and Risk Reduction. In N. Kabisch, H. Korn, J. Stadler, & A. Bonn (Eds.), *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas* (pp. 91–109). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5_6

INTERCLIM

Dodman, D. (2009). Urban density and climate change (Analytical Review of the Interaction between Urban Growth Trends and Environmental Changes, pp. 1–23) [Paper 1]. United Nations Population Fund.

Dunlop, T., Khojasteh, D., Cohen-Shacham, E., Glamore, W., Haghani, M., Van Den Bosch, M., Rizzi, D., Greve, P., & Felder, S. (2024). The evolution and future of research on Nature-based Solutions to address societal challenges. *Communications Earth & Environment*, 5(1), 132. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01308-8>

Đurđević, D., Vasić, M., Ogrin, M., Savić, S., Milošević, D., Dunjić, J., Šećerov, I., Žgela, M., Boras, M., Herceg Bulić, I., Pecelj, M., Šušnjar, S., Lukić, M., Ivanišević, M., Trbić, G., Čulafić, G., & Mitrović, L. (2023). Long-Term Assessment of Bioclimatic Conditions at Micro and Local Scales in the Cities of the Western Part of the Balkan Peninsula during the 21st Century. *Sustainability*, 15(21), 15286. <https://doi.org/10.3390/su152115286>

Esraz-Ul-Zannat, Md., Dedekorkut-Howes, A., & Morgan, E. A. (2024). A review of nature-based infrastructures and their effectiveness for urban flood risk mitigation. *WIREs Climate Change*, 15(5), e889. <https://doi.org/10.1002/wcc.889>

Fischer, E. M., Oleson, K. W., & Lawrence, D. M. (2012). Contrasting urban and rural heat stress responses to climate change. *Geophysical Research Letters*, 39(3), 2011GL050576. <https://doi.org/10.1029/2011GL050576>

Fojutowski, M. (2025). The characteristics of tropical nights in Poland in years 1951–2024. *Quaestiones Geographicae*, 44(3), 21–33. <https://doi.org/10.14746/quageo-2025-0023>

Gonzalez-Ollauri, A. (2022). Sustainable Use of Nature-Based Solutions for Slope Protection and Erosion Control. *Sustainability*, 14(4), 1981. <https://doi.org/10.3390/su14041981>

Grabić, J., Vranešević, M., Benka, P., Šeremešić, S., & Meseldžija, M. (2025). Advancing Climate Resilience Through Nature-Based Solutions in Southern Part of the Panonian Plain. *Sustainability*, 18(1), 362. <https://doi.org/10.3390/su18010362>

Greksa, A., Blagojević, B., & Grabić, J. (2023a). Beginning of implementation of Nature-Based Solutions (NbS) in Serbia: Case study of the first implemented rain gardens within sub-urban community Kać. In Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2866498/v1>

Greksa, A., Blagojević, B., & Grabić, J. (2023b). Nature-based Solutions in Serbia: Implementation of Rain Gardens in the Suburban Community Kać. *Environmental Processes*, 10(3), 41. <https://doi.org/10.1007/s40710-023-00659-2>

Guastella, G., Oueslati, W., & Pareglio, S. (2019). Patterns of Urban Spatial Expansion in European Cities. *Sustainability*, 11(8), 2247. <https://doi.org/10.3390/su11082247>

Humbal, A., Chaudhary, N., & Pathak, B. (2023). Urbanization Trends, Climate Change, and Environmental Sustainability. In B. Pathak & R. S. Dubey (Eds.), *Climate Change and Urban Environment Sustainability* (pp. 151–166). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7618-6_9

International Union for Conservation of Nature (IUCN). (2020). IUCN Global Standard for Nature-based Solutions: A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS: first edition (1st ed.). IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.08.en>

INTERCLIM

International Union for Conservation of Nature (IUCN). (2026). IUCN Global Standard for Nature-based Solutions™: A user-friendly framework for assessing, implementing, and monitoring scalable, high-integrity NbS : second edition (2nd ed.). IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/KKSO4573>

IPCC. (2014). Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. In C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, & L. L. White (Eds.), *Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Jutrović, M., Tomić Reljić, D., Zovko, M., Bubalo Kovačić, M., Pereković, P., & Kamenečki, M. (2023). Potential for Applying Nature-Based Solutions to Urban Waterways: The Case Study of Medveščak and Črnomerec Streams in the City of Zagreb, Croatia. *Sustainability*, 15(13), 9959. <https://doi.org/10.3390/su15139959>

Kabisch, N., Basu, S., Van Den Bosch, M., Bratman, G. N., & Masztalerz, O. (2023). Nature-based solutions and mental health. In T. McPhearson, N. Kabisch, & N. Frantzeskaki (Eds.), *Nature-Based Solutions for Cities* (pp. 192–212). Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781800376762.00019>

Kabisch, N., Van Den Bosch, M., & Laforzezza, R. (2017). The health benefits of nature-based solutions to urbanization challenges for children and the elderly – A systematic review. *Environmental Research*, 159, 362–373. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.004>

Kapović Solomun, M., Eremija, S., Bogunović, I., Hysa, A., Češljarić, G., Čigoja, I., & Ferreira, C. (2025). Nature-Based Solutions Mainstreaming: Challenges and Opportunities for Climate-Related Natural Hazards Mitigation in Western Balkans Countries. *South-East European Forestry*, 16(1), 73–84. <https://doi.org/10.15177/seefor.25-11>

Kapović Solomun, M., Ferreira, C. S. S., Barger, N. N., Tošić, R., & Eremija, S. (2021). Understanding the role of policy frameworks in developing land degradation in stakeholders perception from a post-conflict perspective in Bosnia and Herzegovina. *Land Degradation & Development*, 32(12), 3393–3402. <https://doi.org/10.1002/ldr.3744>

Kleerekoper, L., Van Esch, M., & Salcedo, T. B. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling*, 64, 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.004>

Kovačević, Dušan, Oljača, Snežana, Dolijanović, Zeljko, & Milić, Vesna. (2012). Climate changes: Ecological and agronomic options for mitigating the consequences of drought in Serbia. Third International Scientific Symposium “Agrosym Jahorina 2012,” 17–35. <https://doi.org/10.7251/AGSY1203017K>

Le Coent, P., Graveline, N., Altamirano, M. A., Arfaoui, N., Benitez-Avila, C., Biffin, T., Calatrava, J., Dartee, K., Douai, A., Gnonlonfin, A., Hérivaux, C., Marchal, R., Moncoulon, D., & Piton, G. (2021). Is-it worth investing in NbS aiming at reducing water risks? Insights from the economic assessment of three European case studies. *Nature-Based Solutions*, 1, 100002. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2021.100002>

INTERCLIM

Le Gouvello, R., Cohen-Shacham, E., Herr, D., Spadone, A., Simard, F., & Brugere, C. (2023). The IUCN Global Standard for Nature-based Solutions™ as a tool for enhancing the sustainable development of marine aquaculture. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1146637. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1146637>

Leščesen, I., Urošev, M., Dolinaj, D., Pantelić, M., Telbisz, T., Varga, G., Savić, S., & Milošević, D. (2019). Regional Flood Frequency Analysis Based on L-Moment Approach (Case Study Tisza River Basin). *Water Resources*, 46(6), 853–860. <https://doi.org/10.1134/S009780781906006X>

Locke, D. H., Baker, M., Alonzo, M., Yang, Y., Ziter, C. D., Murphy-Dunning, C., & O'Neil-Dunne, J. P. M. (2024). Variation in the relationship between urban tree canopy and air temperature reduction under a range of daily weather conditions. *Heliyon*, 10(3), e25041. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25041>

Luber, G., & McGeehin, M. (2008). Climate Change and Extreme Heat Events. *American Journal of Preventive Medicine*, 35(5), 429–435. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2008.08.021>

MacKinnon, Kathy, Sobrevila, Claudia, & Hickey, Valerie. (2008). Biodiversity, climate change, and adaptation: Nature-based solutions from the World Bank portfolio (No. 46726; p. 102). The World Bank. <https://documents.worldbank.org/curated/en/149141468320661795>

Marando, F., Salvatori, E., Fusaro, L., & Manes, F. (2016). Removal of PM₁₀ by Forests as a Nature-Based Solution for Air Quality Improvement in the Metropolitan City of Rome. *Forests*, 7(7), 150. <https://doi.org/10.3390/f7070150>

Menon, J. S., & Sharma, R. (2021). Nature-Based Solutions for Co-mitigation of Air Pollution and Urban Heat in Indian Cities. *Frontiers in Sustainable Cities*, 3, 705185. <https://doi.org/10.3389/frsc.2021.705185>

Merkoci, A. L., Mustaqi, V., Jaupaj, O., Como, E., Bardhi, A., & Dvorani, M. (2012). Droughts and their impact on the Albanian Territory. 58(1), 7–17.

Mickovski, S. B., Gonzalez-Ollauri, A., Sorolla, A., Löchner, A., & Emmanuel, R. (2024). A case history of co-design and co-deployment of a nature-based solution (NbS) against erosion and slope instability. *Ecological Engineering*, 209, 107406. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107406>

Mohite, S., & Surawar, M. (2026). Nature-Based Solutions for Mitigating Combined Impacts of Heatwaves and Urban Heat Island. In K. Mukherjee, T. Bhadra, J. K. Pandey, P. Dash, & R. Sarkar (Eds.), *Urban Climate* (pp. 25–42). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-032-17895-4_2

Mrkonjic, D. (2025, August 8). The Severe to Extreme storms over Bosnia and Herzegovina in July 2023. <https://doi.org/10.5194/ecss2025-82>

Mutegi, James, Ameru, Julia, Harawa, Rebbie, Kiwia, Abednego, & Njue, Antony K. (n.d.). Soil health and climate change: Implications for food security in Sub-Saharan Africa. *International Journal of Development and Sustainability*, 7(1), 21–33.

Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>

Oleson, K. W., Monaghan, A., Wilhelmi, O., Barlage, M., Brunzell, N., Feddema, J., Hu, L., & Steinhoff, D. F. (2015). Interactions between urbanization, heat stress, and cli-

INTERCLIM

mate change. *Climatic Change*, 129(3–4), 525–541. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0936-8>

Pagano, A., Pluchinotta, I., Pengal, P., Cokan, B., & Giordano, R. (2019). Engaging stakeholders in the assessment of NbS effectiveness in flood risk reduction: A participatory System Dynamics Model for benefits and co-benefits evaluation. *Science of The Total Environment*, 690, 543–555. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.059>

Pandit, J. (2024). Impact of Climate Change on Drought: A Comprehensive Review. *International Journal of Agriculture Environment and Biotechnology*, 17(4). <https://doi.org/10.30954/0974-1712.04.2024.14>

Papić, D. (2025). Evaluation of drought in Bosnia and Herzegovina during the period 1956–2022. *Időjárás*, 129(3), 357–372. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2025.3.6>

Pazzi, V., Morelli, S., Fidolini, F., Krymi, E., Casagli, N., & Fanti, R. (2016). Testing cost-effective methodologies for flood and seismic vulnerability assessment in communities of developing countries (Dajç, northern Albania). *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(3), 971–999. <https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1004374>

Penning, E., Peñailillo Burgos, R., Mens, M., Dahm, R., & De Bruijn, K. (2023). Nature-based solutions for floods AND droughts AND biodiversity: Do we have sufficient proof of their functioning? *Cambridge Prisms: Water*, 1, e11. <https://doi.org/10.1017/wat.2023.12>

Perčec Tadić, Melita, Gajić-Čapka, Marjana, Zaninović, Ksenija, & Cindrić Kalin, Ksenija. (2014). Drought Vulnerability in Croatia. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 79(1), 31–38.

Petrova, S., Velcheva, I., & Nikolov, B. (2024). Nature-Based Solutions to Reduce Air Pollution: A Case Study from Plovdiv, Bulgaria, Using Trees, Herbs, Mosses and Lichens. *Forests*, 15(6), 928. <https://doi.org/10.3390/f15060928>

Pinto, L. V., Inácio, M., & Pereira, P. (2023). Green and blue infrastructure (GBI) and urban nature-based solutions (NbS) contribution to human and ecological well-being and health. *Oxford Open Infrastructure and Health*, 1, ouad004. <https://doi.org/10.1093/ooih/ouad004>

Potočki, K., Bekić, D., Bonacci, O., & Kulić, T. (2021). Hydrological Aspects of Nature-Based Solutions in Flood Mitigation in the Danube River Basin in Croatia: Green vs. Grey Approach. In C. S. S. Ferreira, Z. Kalantari, T. Hartmann, & P. Pereira (Eds.), *Nature-Based Solutions for Flood Mitigation* (Vol. 107, pp. 263–288). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/698_2021_770

Préau, C., Tournebize, J., Lenormand, M., Alleaume, S., Boussada, V. G., & Luque, S. (2022). Habitat connectivity in agricultural landscapes improving multi-functionality of constructed wetlands as nature-based solutions. *Ecological Engineering*, 182, 106725. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106725>

Saboonchi, Parichehr, Khorsandnikoo, Morteza, Masnavi, Mohammad Reza, & Motedayen, Heshmatollah. (2025). Strategies to Mitigate Drought and Water Stress in Tehran through Nature-based Solutions (NbS), A Decision-making Based on Fuzzy Cognitive Maps (FCMs). *MANZAR*, 17(70), 28–35. <https://doi.org/10.22034/manzar.2024.473280.2307>

Savić, S., Krstić, H., Milošević, D., Dunjić, J., Šećerov, I., & Arsenović, D. (2023). Greening the cities—Improving micro-scale thermal conditions and enhancing sustainable

INTERCLIM

urban environments. The Circular Economy: “The Number of Priority” for the European Green Deal, 251–261.

Savić, S., Krstić, H., Šećerov, I., & Dunjić, J. (2024). Decreasing the energy demand in public buildings using nature-based solutions: Case studies from Novi Sad (Republic of Serbia) and Osijek (Republic of Croatia). *Energy, Sustainability and Society*, 14(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s13705-024-00455-2>

Savić, S., Marković, V., Šećerov, I., Pavić, D., Arsenović, D., Milošević, D., Dolinaj, D., Nagy, I., & Pantelić, M. (2018). Heat wave risk assessment and mapping in urban areas: Case study for a midsized Central European city, Novi Sad (Serbia). *Natural Hazards*, 91(3), 891–911. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3160-4>

Schinasi, L. H., Kondo, M. C., Edwards, J., Clougherty, J. E., De Roos, A. J., & Bilal, U. (2023). Does Urban Greenspace Reduce Mortality Inequalities Based on Poverty, Race, or Both in Philadelphia, PA? *Journal of Urban Health*, 100(4), 686–695. <https://doi.org/10.1007/s11524-023-00748-5>

Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C. A. J., Smith, A., & Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1794), 20190120. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>

Seddon, N., Smith, A., Smith, P., Key, I., Chausson, A., Girardin, C., House, J., Srivastava, S., & Turner, B. (2021). Getting the message right on nature-based solutions to climate change. *Global Change Biology*, 27(8), 1518–1546. <https://doi.org/10.1111/gcb.15513>

Short, C., Clarke, L., Carnelli, F., Uttley, C., & Smith, B. (2019). Capturing the multiple benefits associated with nature-based solutions: Lessons from a natural flood management project in the Cotswolds, UK. *Land Degradation & Development*, 30(3), 241–252. <https://doi.org/10.1002/ldr.3205>

Sintayehu, D. W., Kassa, A. K., Tessema, N., Girma, B., Alemayehu, S., & Hassen, J. Y. (2023). Drought Characterization and Potential of Nature-Based Solutions for Drought Risk Mitigation in Eastern Ethiopia. *Sustainability*, 15(15), 11613. <https://doi.org/10.3390/su151511613>

Soltanifard, H., & Amani-Beni, M. (2025). The cooling effect of urban green spaces as nature-based solutions for mitigating urban heat: Insights from a decade-long systematic review. *Climate Risk Management*, 49, 100731. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2025.100731>

Soltanifard, H., Monteiro, C. M., Santos, C., Matos, C., & Sá, A. B. (2024). Cooling Effect of Urban Green Space: A Nature-Based Solution for Mitigation of Urban Heat. In C. M. Monteiro, C. Santos, C. Matos, & A. Briga Sá (Eds.), *Sustainable Development (Vol. 25)*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.115085>

Song, Y., Chen, B., & Kwan, M.-P. (2020). How does urban expansion impact people's exposure to green environments? A comparative study of 290 Chinese cities. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119018>

Stadtherr, L., Coumou, D., Petoukhov, V., Petri, S., & Rahmstorf, S. (2016). Record Balkan floods of 2014 linked to planetary wave resonance. *Science Advances*, 2(4), e1501428. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501428>

INTERCLIM

Su, J., Wang, M., Zhang, D., Yuan, H., Zhou, S., Wang, Y., & Adib Mohammad Razi, M. (2024). Integrating technical and societal strategies in Nature-based Solutions for ur-ban flood mitigation in Guangzhou, a heritage city. *Ecological Indicators*, 162, 112030.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112030>

Turkelboom, F., Demeyer, R., Vranken, L., De Becker, P., Raymaekers, F., & De Smet, L. (2021). How does a nature-based solution for flood control compare to a technical solution? Case study evidence from Belgium. *Ambio*, 50(8), 1431–1445.

<https://doi.org/10.1007/s13280-021-01548-4>

Ugarković, D., Šprem, N., Kelava Ugarković, N., & Oršanić, M. (2020). Flooding as a cause of ungulate mortality in floodplain forests in Croatia. *Journal of Forestry Research*, 31(3), 1045–1052. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-00914-z>

UNDDR, & Dadvar, M. (2020). Hazard Definition and Classification Review. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28232.34561>

United Nations Environment Programme. (2022). Nature-based solutions for supporting sustainable development: Resolution adopted by the United Nations Environment Assembly on 2 March 2022 (UNEP/EA.5/Res.5). <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/39864>

United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). (2011). Hot cities: Battle-ground for climate change. United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). <https://unhabitat.org/sites/default/files/2012/06/P1HotCities.pdf>

United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). (2022). World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities. UN-Habitat. https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf

United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). (2022). World Cities Report 2022. UN-Habitat. <https://www.unhabitat.org>

Urban, M. C., Alberti, M., De Meester, L., Zhou, Y., Verrelli, B. C., Szulkin, M., Schmidt, C., Savage, A. M., Roberts, P., Rivkin, L. R., Palkovacs, E. P., Munshi-South, J., Malesis, A. N., Harris, N. C., Gotanda, K. M., Garraway, C. J., Diamond, S. E., Roches, S. D., Charmantier, A., & Brans, K. I. (2024). Interactions between climate change and urbanization will shape the future of biodiversity. *Nature Climate Change*, 14(5), 436–447. <https://doi.org/10.1038/s41558-024-01996-2>

Van Den Bosch, M., & Ode Sang, Å. (2017). Urban natural environments as nature-based solutions for improved public health – A systematic review of reviews. *Environmental Research*, 158, 373–384. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.05.040>

Veldman, J. W., Overbeck, G. E., Negreiros, D., Mahy, G., Le Stradic, S., Fernandes, G. W., Durigan, G., Buisson, E., Putz, F. E., & Bond, W. J. (2015). Where Tree Planting and Forest Expansion are Bad for Biodiversity and Ecosystem Services. *BioScience*, 65(10), 1011–1018. <https://doi.org/10.1093/biosci/biv118>

Vojinovic, Z., Alves, A., Gómez, J. P., Weesakul, S., Keerakamolchai, W., Meesuk, V., & Sanchez, A. (2021). Effectiveness of small- and large-scale Nature-Based Solutions for flood mitigation: The case of Ayutthaya, Thailand. *Science of The Total Environment*, 789, 147725. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147725>

Wanner, A., Budhiraja, B., McKinley, J., & Jungnickel, M. (2026). Beat the heat: Hotspots for nature-based solutions in Vienna and Budapest. *Sustainable Cities and Society*, 139, 107219. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2026.107219>

INTERCLIM

Wei, H., Bai, X., Lu, Q., Wu, J., Su, F., Hong, T., Hu, Q., Wang, W., Quan, S. J., Luo, Z., & Han, Y. (2025). Urban cooling and energy-saving effects of nature-based solutions across types and scales. *Nature Cities*, 2(12), 1194–1204. <https://doi.org/10.1038/s44284-025-00349-0>

World Bank. (n.d.). Urban population (% of total population). World Development Indicators. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS>

Yimer, E. A., De Trift, L., Lobkowicz, I., Villani, L., Nossent, J., & Van Griensven, A. (2024). The underexposed nature-based solutions: A critical state-of-art review on drought mitigation. *Journal of Environmental Management*, 352, 119903. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119903>

Zaninović, K., & Matzarakis, A. (2014). Impact of heat waves on mortality in Croatia. *International Journal of Biometeorology*, 58(6), 1135–1145. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0706-3>

Zhang, H., Luo, M., Pei, T., Liu, X., Wang, L., Zhang, W., Lin, L., Ge, E., Liu, Z., & Liao, W. (2023). Unequal urban heat burdens impede climate justice and equity goals. *The Innovation*, 4(5), 100488. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2023.100488>

Zhou, W., Yu, W., Qian, Y., Han, L., Pickett, S. T. A., Wang, J., Li, W., & Ouyang, Z. (2022). Beyond city expansion: Multi-scale environmental impacts of urban megaregion formation in China. *National Science Review*, 9(1), nwab107. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwab107>

Ziter, C. D., Pedersen, E. J., Kucharik, C. J., & Turner, M. G. (2019). Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(15), 7575–7580. <https://doi.org/10.1073/pnas.1817561116>

INTERCLIM

2. Od ideje do provedbe: praktični vodič za primjenu rješenja temeljenih na prirodi

2.1. Od koncepta do dugoročnog funkcioniranja

Rješenja temeljena na prirodi (Nature-based Solutions, NbS) sve češće se primjenjuju kao dio odgovora gradova na klimatske i druge ekološke izazove. Njihova prednost nije samo u tome što mogu pridonijeti rješavanju konkretnog problema, već i u mogućnosti da istodobno osiguraju više ekoloških, društvenih i ekonomskih koristi. Ipak, između ideje o primjeni određenog rješenja i njegove uspješne realizacije postoji čitav niz koraka koji se u predstavljanju NbS često nalaze u drugom planu.

U literaturi i projektnoj praksi značajna pažnja posvećuje se odabiru odgovarajućih NbS i procjeni njihovih potencijalnih koristi, dok su praktični aspekti realizacije zastupljeni u znatno manjoj mjeri. Fang i suradnici (2024) su u pregledu 142 publikacije utvrdili da se 66% analiziranih radova odnosi na odabir i procjenu NbS, dok se samo 16% izravno bavi njihovim projektiranjem i provedbom. Još je izraženiji nedostatak istraživanja transfera i širenja primijenjenih rješenja, kojima se bavilo samo 6% analiziranih studija (Fang i suradnici, 2024).

Upravo tijekom realizacije pojavljuju se problemi koji na početku projekta često nisu očiti. Nedostatak prostora, postojeća infrastruktura, tehnička ograničenja, nedostatak specifičnih znanja i iskustva, financiranje, administrativne procedure, uključivanje različitih aktera i buduće održavanje mogu znatno utjecati na konačno rješenje. Castellar i suradnici (2024) identificirali su čak 24 vrste prepreka urbanoj provedbi NbS. Među njima su konkurencija

za ograničen urbani prostor, troškovi provedbe održavanja, lokalni klimatski i drugi uvjeti, potreba za prilagodbom postojeće hidrauličke ili električne infrastrukture, nedostatak jasnih smjernica, administrativne procedure i regulatorna ograničenja (Castellar i suradnici, 2024).

Zbog toga ovo poglavlje nema za cilj samo predstaviti što pojedina NbS mogu postići, već i što se može dogoditi kada ih pokušamo doista realizirati u gradu. Iskustva prethodnih projekata – uključujući prepreke, promjene prvotnih planova, dodatne troškove i rješenja koja nisu funkcionirala na očekivani način – mogu biti jednako korisna kao i primjeri uspješne provedbe. Otvoreno komuniciranje takvih iskustava omogućava da se u budućim projektima realističnije planiraju rokovi i troškovi, ranije identificiraju potencijalni problemi i izbjegne ponavljanje istih grešaka.

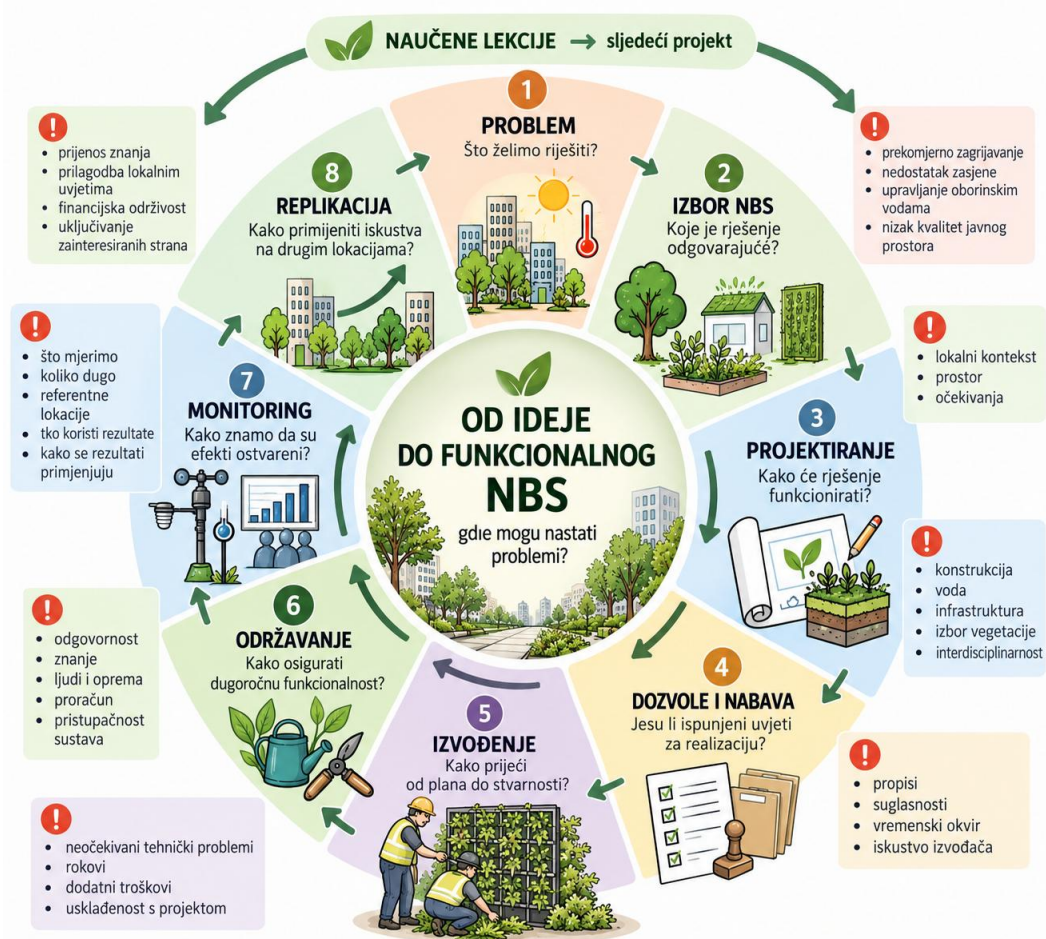
U tom smislu, NbS treba promatrati kao proces, a ne samo kao gotov proizvod. Njihov uspjeh ovisi o lokalnog konteksta, kvaliteta projektiranja i izvođenja, suradnje različitih struka i institucija, prihvatanja od strane korisnika, ali i od toga što se sa intervencijom događa nakon njenog svečanog otvaranja. Frantzeskaki (2019), na temelju iskustava 15 NbS eksperimenata u 11 evropskih gradova, posebno naglašava važnost suradnje u upravljanju, uključivanja različitih aktera, učenja kroz eksperimentisanje i projektiranja rješenja tako da se stečena iskustva mogu koristiti za njihovu dugoročnu primjenu i repliciranje (Frantzeskaki, 2019).

INTERCLIM

Predloženi proces sastoji se od osam povezanih koraka: definiranje problema i cilja, projektiranje, provjera izvedivosti, provedba, praćenje, održavanje, vrednovanje i prenošenje naučenih lekcija. Proces je iterativan: iskustva iz korištenja trebaju utjecati

na buduće odluke o odabiru lokacije i dizajnu. Praćenje je potrebno osmisлити već tijekom projektiranja, prije nego što intervencija bude izvedena (IUCN, 2020; European Commission, 2021).

Slika 4. Shematski prikaz procesa stvaranja inovativnog rješenja temeljenog na prirodi



Za područje prekogranične suradnje Novi Sad–Osijek u nastavku je izdvojeno šest tipova NbS koji se mogu primjenjivati u različitim dijelovima urbanog prostora. Izbor obuhvaća rješenja na objektima, javnim površinama i uličnoj infrastrukturi, kao i

rješenja namijenjena upravljanju oborinskim vodama. Posebna pažnja posvećena je rješenjima sa kojima već postoji neposredno iskustvo kroz prethodne projekte u Novom Sadu i kroz projekt InterClim.

INTERCLIM

Tablica 1. Pregled odabranih NbS relevantnih za područje Novi Sad–Osijek

<i>Rešenje</i>	<i>Glavni izazovi na koje odgovara</i>	<i>Tipična primjena</i>	<i>Posebno razmotriti prije provedbe</i>
<i>Ekstenzivni zeleni krovovi</i>	pregrijavanje, oborinske vode, nedostatak zelenila	javne, stambene i poslovne zgrade	karakteristike objekta, konstrukciju, vodu i drenažu, održavanje
<i>Zeleni zidovi i fasade</i>	pregrijavanje površina, nedostatak zelenila u gusto izgrađenim prostorima	fasade javnih, poslovnih i stambenih objekata	sustav ozelenjavanja, konstrukciju, navodnjavanje, sigurnost, pristup održavanju
<i>Unutarnji zeleni zidovi</i>	kvaliteta i ugodnost unutarnjeg prostora	javni, obrazovni, poslovni i komercijalni objekti	svjetlost, vodu, odabir biljaka, kontrolu vlage i redovito održavanje
<i>Urbano drveće, drvoredi i zeleni koridori</i>	toplinski stres, nedostatak sjene i zelenila	ulice, trgovi, pješačke zone, parkovi	prostor za krošnju i korištenje, tlo, vodu, podzemne instalacije
<i>Zelene sobe</i>	lokalni toplinski stres i nedostatak ugodnih prostora za boravak	trgovi, pješačke i druge javne površine	lokaciju, sjenu, vegetaciju, funkciju prostora, pristupačnost i održavanje
<i>Kišni vrtovi</i>	intenzivne oborine, površinsko oticanje	ulice, parkovi, parking prostori, stambene zone	dotok vode, infiltraciju, tlo, vegetaciju, preliv i održavanje

2.2. Odabrana rješenja temeljena na prirodi

2.2.1. Ekstenzivni zeleni krovovi

Zeleni krovovi omogućavaju uvođenje vegetacije na površine koje su u konvencionalno izgrađenom gradu uglavnom neiskorištene za zelenu infrastrukturu. Zbog toga su posebno zanimljivi u gusto izgrađenim dijelovima grada, gdje je mogućnost formiranja novih zelenih površina na razini terena ograničena. Njihova primjena povezuje ozelenjavanje objekata s upravljanjem oborinskim vodama, ublažavanjem pregrijavanja izgrađenih povr-

šina i drugim ekosistemskim funkcijama.

Međutim, odluka da se određeni objekt ozeleni nije isto što i odluka da se ozeleni slobodna površina. NbS postaje dio zgrade i mora biti usklađena s njenim konstrukcijskim i tehničkim karakteristikama. Zbog toga se mogućnost primjene, posebno kod postojećih objekata, mora sagledavati još prije odabira konkretnog sustava i vegetacije. Ekstenzivni zeleni krovovi imaju relativno plitak supstrat i vegetaciju prilagođenu izloženosti suncu, vjetru i povremenoj suši. Iako uglavnom zahtijevaju manje intenzivnu njegu od intenzivnih krovova, nisu sustavi

INTERCLIM

bez održavanja. Prije odabira rješenja treba provjeriti nosivost konstrukcije, uključujući masu vodom zasićenog supstrata, hidroizolaciju, zaštitu od korenja, drenažu, pristup za servisiranje i dostupnost vode.

Iskustva iz prakse

Iskustvo Hamburga pokazuje i da šira primjena zelenih krovova ne ovisi samo od tehničkog rješenja. Gradska strategija razvijena je kroz kombinaciju financijskih podsticaja, dijaloga, regulative i znanstvene podrške, uz kontinuirano uključivanje građevinskih kompanija, pejzažnih arhitekata, urbanista i drugih aktera. Istovremeno su se pojavili konflikti sa drugim urbanim ciljevima, poput zahtijeva za pristupačnijim stanovanjem, kao i potreba za dodatnim dokazima o nekim performansama zelenih krovova (EEA, 2021).

Ovaj primjer pokazuje i da NbS mogu imati neželjene efekte koji se rijetko pojavljuju na promotivnim prikazima. U Hamburgu su, na primjer, na pojedinim zelenim krovovima zabilježeni problemi povezani sa velikim brojem galebova i povećanom pojavom insekata, što je zahtijevalo dodatnu komunikaciju i podizanje svesti korisnika (EEA, 2021)

Studija slučaja: Ekstenzivni zeleni krov na objektu ŠOSO "Milan Petrović", Novi Sad

U okviru projekta GReENERGY na objektu ŠOSO „Milan Petrović“ u Novom Sadu 2021. godine izveden je ekstenzivni zeleni krov površine 480 m², sa modularnim vegetacijskim elementima i sedum vegetacijom (Savić i suradnici, 2024). Primer omogućava sagledavanje razlike između početnog stanja i dugoročnog funkcioniranja.

Tijekom pripreme potvrđena je važnost pravodobne provjere tehničkih i administrativnih preuvjeta za odabrani objekt. U planiranju opskrbe vodom razmatrano je korištenje prikupljene kišnice za krov i vanjski zeleni zid. Praksa je pokazala da dostupnost vode tijekom suhih ljetnih razdoblja ne treba procjenjivati samo na temelju godišnje količine oborina: važni su raspored oborina, slivna površina, kapacitet skladištenja i potrošnja biljaka. Krov nije redovito navodnjavan, a tijekom korištenja dio vegetacije se osušio.

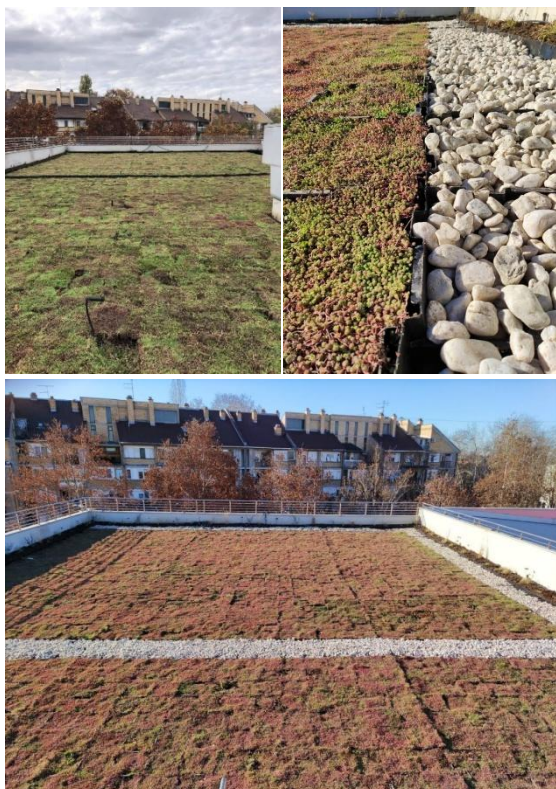
Ovo iskustvo pokazuje da ugovorna obaveza održavanja sama po sebi nije dovoljna: potrebno je navesti učestalost pregleda, zalijevanje tijekom suše, kriterije za zamjenu vegetacije, tehničke kontrole, nadležnosti i dostupne resurse.

Rezultati monitoringa objavljeni u radu Savić i suradnici (2024) obuhvatili su temperaturu zraka (Ta) i temperaturu globe termometra (Tg) na različitim mjernim mjestima. Razlike u Ta bile su uglavnom skromne, dok je Tg pokazivala izraženije razlike zavisne od doba dana i izloženosti. Tijekom tropskih noći Tg iznad zelenog krova bila je tipično približno 2 °C niža nego na analiziranim drugim lokacijama.

Naučena lekcija: funkcionalnost zelenog krova zahtijeva usklađivanje nosivosti, dostupnosti vode, stanja vegetacije i operativnog održavanja; očekivane mikroklimatske koristi moraju se provjeravati odgovarajućim pokazateljima.

INTERCLIM

♣ Slika 5. Ekstenzivni zeleni krov na objektu ŠOSO „Milan Petrović“, detalj modularnih sedum panela i šljunčane zone



2.2.2. Zeleni zidovi i fasade

Vertikalno ozelenjavanje omogućava unošenje vegetacije tamo gdje za horizontalne zelene površine nema dovoljno prostora. Ovisno o sustavu, vegetacija može biti povezana s tlom ili se razvijati u posebnim konstrukcijama postavljenim na fasadu. Upravo ta povezanost sa objektom čini provedbu zelenih zidova tehnički zahtjevnijom nego što njihov finalni izgled može sugerirati. Zelene fasade sa penjačicama i modularni zeleni zidovi razlikuju se po konstrukciji i potrebama održavanja. Modularni sustavi koriste zasebne posude ili kasete sa supstratom, pričvršćene za nosivu konstrukciju. Njihova pouzdanost ovisi o sta

bilnosti konstrukcije, kvalitete vode, pravilne distribucije navodnjavanja, odvođenja viška vode i pristupa biljkama i instalacijama. Kod postojećih objekata mogu se pojaviti dodatna ograničenja koja nisu bila očita tijekom inicijalnog odabira NbS.

Što se može desiti u praksi? – iskustvo Liverpoola

URBAN GreenUP pruža posebno ilustrativan primjer. Tijekom realizacije zelenih zidova u Liverpoolu promijenjeni zahtjevi nakon Grenfell požara doveli su do toga da se zeleni zidovi tretiraju kao vanjska obloga objekta. Zbog toga su bili potrebni dodatni, prvotno neplanirani proračuni protivpožarne bezbednosti i dodatna procedura pred nadležnim građevinskim organom. Takođe, jedan mnogo „običniji“ tehnički zahvat pokazao se složenijim nego što se očekivalo: priključivanje drenaže zahtijevalo je koordinaciju više službi, dve odvojene saglasnosti i zatvaranje ulice, što je dovelo do dodatnog vremena i troškova (Sánchez Francés i suradnici, 2023)

Naučena lekcija: kod inovativnih NbS treba računati sa mogućnošću da se tijekom projektiranja i izvođenja pojave zahtjevi koje početni koncept nije mogao potpuno da predvidi. URBAN GreenUP na temelju svojih iskustava preporučuje čak i planiranje proračunske rezerve od 10–20% za nepredviđene situacije.

Studija slučaja: Modularni zeleni zid na objektu ŠOSO „Milan Petrović“, Novi Sad

U projektu GReENERGY na objektu ŠOSO „Milan Petrović“ postavljen je modularni zeleni zid sa pojedinačnim saksijama i

INTERCLIM

navodnjavanjem kap po kap. Noseća konstrukcija pričvršćena je izravno na fasadu, bez razmaka između konstrukcije i zida. Voda je dopremana do pojedinačnih posuda putem malih emitera, odnosno kapaljki.

Tijekom korištenja pojavilo se taloženje kamenca zbog tvrdoće vode, uz začepljivanje pojedinačnih kapaljki. To je poremetilo raspodjelu vode i dovelo do njenog nekontroliranog slivanja niz konstrukciju i vlaženja fasade. Problem je zahtijevao sanacijske aktivnosti.

Pri budućem projektiranju potrebno je unaprijed provjeriti kvalitetu vode,

odabrati lako dostupne i zamjenjive elemente za navodnjavanje, predvidjeti kontrolirano odvođenje vode i odgovarajuće odvajanje zelenog sustava od fasade. Fotodokumentacija montaže i održavanja pokazuje i važnost sigurnog pristupa višim dijelovima zida, što utječe na troškove rada i servisiranja.

Naučena lekcija: naizgled mali tehnički element, poput kapaljke, može utjecati i na vitalnost vegetacije i na stanje građevinske površine. Održavanje mora obuhvatiti i biljke i instalacije.

❖ Slika 6. Modularni zeleni zid na objektu ŠOSO „Milan Petrović“, detalji sustava navodnjavanja i načina provedbe



2.2.3. Unutarnji zeleni zidovi

Unutarnji zeleni zidovi predstavljaju specifičan oblik vertikalnog ozelenjavanja, koji postaje sve popularniji u poslovnim objektima, hotelima, sveučilištima, i drugim različitim institucijama. Osim toga što su iznimno dekorativni, specifični su jer se uvjeti u kojima vegetacija opstaje u velikoj mjeri kontroliraju karakteristikama objekta. Dostupnost prirodne ili umjetne svjetlosti, temperatura i vlažnost zraka, način navodnjavanja, odabir biljnih vrsta i

moгуćnost pristupa radi održavanja postaju sastavni dio projektiranja sustava.

Kod ovih sustava posebno je važno da se očekivane koristi ne odvoje od zahtijeva koje sustav stvara tijekom svog životnog veka. Zeleni zid nije završen postavljanjem vegetacije. Biljke rastu, mijenjaju se i mogu propadati, dok sustavi za vodu i osvjetljenje zahtijevaju kontrolu i održavanje. Upravo zato bi kriterij budućeg održavanja trebalo uključiti već prilikom odabira rješenja.

INTERCLIM

Studija slučaja: unutarntji zeleni zid na Departmanu za geografiju, turizam i hotelijerstvo, Novi Sad

U okviru projekta GreEnergy 2.0., u hodniku Departmana za geografiju, turizam i hotelijerstvo Prirodno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Novom Sadu postavljen je unutarntji zeleni zid površine približno 70 m², izrađen od nestabiliziranih lišajeva koji se u komercijalnoj uporabi nazivaju „islandska mahovina“.

Sustav ne zahtijeva prirodno osvjetljenje niti kontinuirano navodnjavanje. Međutim, tijekom zimskih mjeseci, kada je unutarntji zrak suši, materijal postaje krut i

pri dodiru se može mrviti. Prema iskustvu sa ovim konkretnim zidom, povremeno orošavanje, približno jednom u dva tjedna tijekom zime, pridonosi očuvanju mekoće i smanjenju osipanja.

Površina od 70 m² pokazala je da male ručne prskalice nisu praktične za redovitu njegu. Potrebna je oprema većeg kapaciteta, sa produženim nastavkom za pristup višim dijelovima.

Naučena lekcija: mali broj aktivnosti održavanja ne znači i mali utrošak vremena; već u planiranju treba predvidjeti opremu primerenu veličini površine.

♣ Slika 7. Unutarntji zeleni zid na hodniku Departmana za geografiju, turizam i hotelijerstvo, PMF-UNS



2.2.4. Zelene sobe

Zelene sobe predstavljaju male urbane prostore u kojima se vegetacija i drugi elementi uređenja koriste za stvaranje ugodnijih uvjeta za boravak ljudi. Njihova posebna vrijednost je mogućnost primjene u intenzivno korištenim javnim prostorima, gdje nije uvek moguće formirati veći park ili dr-

ugu kontinuiranu zelenu površinu.

Za razliku od pojedinačnog elementa zelene infrastrukture, zelena soba može objediniti više funkcija: vegetaciju, hladovinu, prostor za sedenje i boravak, a ovisno od konkretnog dizajna i druge elemente prilagođene lokalnim potrebama. Zbog toga

INTERCLIM

se uspjeh ovakvog prostora ne može procjenjivati samo količinom vegetacije. Važni su odabir lokacije, mikroklimatski uvjeti, način korištenja prostora, pristupačnost, sigurnost i mogućnost održavanja. Njihovi mikroklimatski efekti ovise od stepena razvijenosti biljaka, lokacije i okolnog zelenila, pa se ne mogu unaprijed kvantifikovati bez praćenja.

U okviru projekta InterClim, zelene sobe predstavljaju demonstraciona NbS koja se provode u Novom Sadu i Osijeku. Njihova realizacija pruža priliku da se prati ne samo efekat finalnog rješenja već i sam proces prijelaza od koncepta do izvedene intervencije.

Studija slučaja: Zelene sobe, Novi Sad i Osijek

U okviru projekta InterClim u Novom Sadu planirane su tri zelene sobe: na Štrandu, u Distriktu (nekadašnja Kineska četvrt) i na Pozorišnom trgu. Prva, demonstraciona zelena soba postavljena je na gradskoj plaži Štrandu, dok su preostale u fazi pripreme. U Osijeku zelene sobe su u procesu postavljanja; stoga se za njih ne navode rezultati provedbe.

Zelena soba na Štrandu sastoji se od konstrukcije sa supstratom i posađenom vegetacijom, nadstrešnice koja treba ozeleni kako biljke rastu, dve klupe, solarnog panela, svjetiljki, punjača za telefone i prostora za razmenu knjiga. Fotografije dokumentuju početnu fazu rasta biljaka; puna vegetacijska pokrivenost još nije ostvarena.

Dosadašnji zastoji u pribavljanju dokumentacije za lokacije pokazuju važnost ranog usklađivanja sa nadležnim gradskim institucijama. Održavanje je predviđeno u nadležnosti projektnog partnera JKP „Gradsko zelenilo“. Potencijalni rizici uključuju vandalizam, oštećenja opreme i neizvjesnu izdržljivost biljaka u ograničenoj zapremini supstrata.

Planirani praćenje obuhvaća meteorološke parametre, kvalitetu zraka i subjektivne dojmove građana putem mobilne aplikacije. Posebno istraživačko pitanje jeste prostorni domet mikroklimatskih efekata: potrebno je utvrditi je li su promjene ograničene na unutrašnjost konstrukcije ili se mogu registrovati i u njenom neposrednom okruženju. Pri odabiru kontrolnih tačaka važno je razdvojiti utjecaj postojeće senke okolnih stabala od efekata same zelene sobe.

Naučena lekcija: postavljanje konstrukcije ne znači da je vegetacijsko rješenje dostiglo punu funkcionalnost. Evaluaciju treba povezati sa razvojem biljaka i dugoročnim korištenjem prostora. Predlog za praćenje i vrednovanje intervencije je vođenje “dnevnika provedbe”, u kome bi se evidentirao napredak, bilježili eventualni problemi, kao i rješenja i naučene lekcije.

♣ Slika 9. Zelena soba na gradskoj plaži Štrand u Novom Sadu



2.2.5. Urbano drveće, drvoredi i zeleni koridori

Drveće predstavlja jedno od najpoznatijih NbS u gradovima, ali njegova uspješna provedba nije jednostavno pitanje sadnje što većeg broja stabala. Posebno u

INTERCLIM

postojećim ulicama, potrebno je istovremeno razmišljati o prostoru iznad i ispod površine.

Iznad zemlje, krošnji je potreban prostor za razvoj bez stvaranja neprihvatljivih konflikata sa fasadama, prometom i drugom infrastrukturom. Ispod površine, korijenu su potrebni odgovarajući volumen i kvaliteta tla, voda i prostor koji često već zauzimaju različite podzemne instalacije.

Studija slučaja: provedba uličnog drvoreda radi postizanja boljeg toplinskog komfora, Nitra, Slovačka

URBACT publikacija o rješenjima temeljenim na prirodi opisuje primjere unaprjeđenja uvjeta za urbano drveće u Nitri, uz naglasak na povezivanje rekonstrukcije ulica i stvaranja odgovarajućeg korijenskog prostora. Ovaj primjer nije studija slučaja projekta InterClim, već ilustracija načina na koji se potrebe drveća uključuju u projektiranje prometnih i pješačkih površina (URBACT, 2025).

Pri planiranju drvoreda potrebno je razmotriti širinu nogostupa, instalacije, mogućnosti razvoja krošnje, zbijenost tla i potrebu za zalijevanjem u prvim godinama nakon sadnje. Poseban problem predstavlja sadnja u uske otvore okružene nepropusnim popločanjem. Takvo rješenje može biti vizualno prihvatljivo neposredno nakon sadnje, ali dugoročno ograničiti razvoj korijena. U okviru rekonstrukcije ulica mogu se razmatrati strukturno tlo, sustavi čelija za korijenski prostor i propusne površine, uz proveru tehničke izvedivosti i lokalnih uvjeta.

URBACT primjer iz Nitre dobro pokazuje važnost ovog manje vidljivog dijela planiranja. U okviru intervencije za smanjenje toplinskog opterećenja u ulicama razmatrani su uvjeti za razvoj korijena, uključujući primjenu strukturnog tla/soil

cells, biochara i vodopropusnog popločavanja. Iskustvo pokazuje da dugovečnost stabala ovisi o toga da se prostor za njihov razvoj planira kao dio celokupnog uređenja ulice, a ne kao naknadni dodatak (URBACT, 2025).

Naučena lekcija: sadnja stabla nije isto što i osiguravanje uvjeta za njegov dugoročni rast. Pri planiranju treba vrednovati razvoj krošnje i korijenskog sustava tijekom više godina, a ne samo početni izgled drvoreda.

2.2.6. Kišni vrtovi

Kišni vrtovi su plitke vegetacijske depresije namijenjene prihvatanju, privremenom zadržavanju i infiltraciji dijela površinskog oticanja. One mogu pridonijeti rasterećenju odvodnje i povećanju vegetacijske pokrivenosti, ali ne predstavljaju univerzalnu zamjenu za konvencionalnu infrastrukturu. Njihovo dimenzionisanje ovisi o slivne površine, karakteristika tla, podzemnih voda, intenziteta oborina i sigurnog preljeva (World Bank, 2021; EEA, 2021). Njihova primjena je posebno relevantna u urbanim sredinama sa velikim udelom nepropusnih površina.

Međutim, kišni vrt nije samo dekorativna zelena površina u koju se usmjerava voda. Njeno funkcioniranje ovisi o odnosu između količine vode koja dolazi na lokaciju, karakteristika tla, mogućnosti infiltracije, odabira vegetacije, načina odvoda viška vode i održavanja sustava. Zbog toga je razumijevanje lokacije važnije od prostog preuzimanja rješenja koje se pokazalo uspješnim u drugom gradu.

Prije izvođenja potrebno je ispitati infiltraciju, odrediti uljevnju zonu i putanju viška vode, odabrati vegetaciju otpornu na povremeno zadržavanje vode i sušna razdoblja, i predvidjeti čišćenje nanosa. Katalog

INTERCLIM

Svetske banke navodi okvirne odnose površine bioretencionog sustava i slivne površine kao početne smjernice, ali oni ne zamjenjuju lokalni hidrotehnički proračun.

Studija slučaja: „Catch the Rain“ (Złap Deszcz), kišni vrtovi u Wrocławu

Program „Catch the Rain“ (Złap Deszcz), pokrenut u Wrocławu 2019. godine, podržava različite sustave upravljanja kišnicom, uključujući rezervoare, infiltracione sustave i kišne vrtove. URBACT dokument navodi primjer parka Krzycki, gdje su prirodna retenciona rješenja integrisana u uređenje parka kao alternativa prvotno planiranom betonskom rješenju.

Iskustvo Wrocława pokazuje i da šira primjena ovakvih rješenja može zahtijevati više od pojedinačnih demonstracionih intervencija. Program „Catch the Rain“ kombinovao je fizička rješenja za zadržavanje i infiltraciju oborinske vode, uključujući kišne vrtove, sa financijskim podsticajima građanima i alatima koji im pomažu da procjene mogućnosti primjene na vlastitim parcelama (URBACT, 2025). Ovaj primjer ukazuje na važnu razliku između uspješnog pilot-projekta i šire promjene urbane prakse: da bi NbS prešla iz pojedinačnog demonstracionog primjera u uobičajeno rješenje, često su potrebni institucionalna podrška, financijski mehanizmi, informisanje i jednostavni alati namijenjeni korisnicima.

Naučena lekcija: uspjeh kišnih vrtova zahtijeva povezivanje hidrotehničkog projektiranja, održavanja i podrške lokalne zajednice. One su dio šireg sustava upravljanja oborinskim vodama, a ne samo dekorativne sadne površine.

2.3. Kada teorija naiđe na praksu: što smo naučili iz provedbe NbS?

Jedna od najvažnijih poruka iskustava evropskih gradova jeste da problemi tijekom provedbe nisu izuzetak niti nužno dokaz lošeg projekta. NbS se često uvode u već izgrađene i institucionalno složene urbane sustave. Njihova realizacija zahtijeva povezivanje prirodnih procesa sa građevinskom infrastrukturom, propisima, budžetima, institucijama i svakodnevnim potrebama korisnika.

Zbog toga bi dokumentovanje problema trebalo promatrati kao dio procesa učenja.

1. Prostor nikada nije potpuno „slobodan“

NbS konkurišu drugim urbanim funkcijama za ograničen prostor. Čak i kada je površina vizualno dostupna, ispod nje mogu postojati instalacije, dok postojeći objekti, vlasnički odnosi ili drugi načini korištenja mogu ograničiti mogućnosti intervencije. Castellar i suradnici (2024) upravo nedostatak prostora, konkurenciju različitih namjena i potrebu za prilagodbom postojeće infrastrukture izdvajaju među preprekama urbanoj provedbi.

Prije nego što počnete: ne analizirajte samo površinu koju vidite. Proverite što se nalazi iznad, ispod i oko buduće NbS.

2. Tehnički detalj može postati veliki problem

Iskustvo Liverpula pokazuje da čak i priključak na drenažu može pokrenuti niz dodatnih procedura, koordinaciju više službi i zatvaranje ulice (Sánchez Francés i suradnici, 2023). Zato tehničke zahtjeve nije dobro ostavljati za fazu izvođenja. Što se više pitanja razreši tijekom projektiranja, manja je vjerovatnoća skupih izmjena tijekom radova.

INTERCLIM

3. NbS zahtijeva suradnju više struka

NbS se nalazi na preseku pejzažne arhitekture, ekologije, građevinarstva, urbanizma, upravljanja vodama, klimatologije i drugih disciplina. Frantzeskaki (2019) iskustva evropskih gradova povezuje upravo sa potrebom za multidisciplinarnim projektiranjem i suradničkim upravljanjem. To znači da stručnjake koji će kasnije rješavati probleme ne treba prvi put uključiti kada problem već nastane.

4. Održavanje počinje prije izgradnje

Jedno od najvažnijih pitanja svakog NbS projekta trebalo bi postaviti prije njegove realizacije: Ko će ovo održavati kada se projekt završi?

URBAN GreenUP (Sánchez Francés i suradnici, 2023) preporučuje da se kod tehnički zahtjevnijih NbS, kada lokalna institucija nema odgovarajuće kapacitete, razmotri uključivanje nekoliko prvih godina održavanja u ugovor sa izvođačem. Povezivanje projektiranja, izvođenja i održavanja može takođe pridonijeti realističnijem projektiranju i smanjenju naknadnih izmjena. Održavanje zato nije poslednja faza projekta. Ono je jedan od kriterija projektovanja.

5. Očekujte neočekivano – i planirajte ga

Kod inovativnih NbS nije realno očekivati da će svaki problem biti poznat prije početka radova. URBAN GreenUP zato, na temelju iskustava svojih gradova, preporučuje da se neizvjesnost otvoreno uključi u planiranje i navodi rezervu od 10–20% projektnog proračuna za nepredviđene situacije, uz realističnije planiranje vremena potrebnog za projektiranje i izvođenje (Sánchez Francés i suradnici, 2023). To možda zvuči kao konzervativno planiranje, ali može biti jeftinije od rešavanja problema tek kada radovi počnu.

6. Lekcije naučene iz projekata realiziranih u Novom Sadu

Predstavljeni primjeri ukazuju na pet međusobno povezanih uvjeta uspjeha: (1) ranu proveru tehničke i administrativne izvedivosti; (2) prilagodbu konstrukcije, vegetacije i navodnjavanja lokalnim uvjetima; (3) precizno definirano održavanje, uključujući opremu i odgovornosti; (4) praćenje razvoja vegetacije tijekom vremena; i (5) praćenje zasnovano na jasnim ciljevima i odgovarajućim pokazateljima. Različite faze provedbe zahtijevaju i različitu razinu sigurnosti zaključaka: izmjereni efekti, iskustva održavanja i očekivani rizici moraju biti jasno razdvojeni.

2.4. Od naučenih lekcija do boljeg sljedećeg projekta

Iskustva iz provedbe NbS pokazuju da uspješan projekt ne počinje odabirom najatraktivnijeg rješenja, već dobrim razumijevanjem problema i lokacije na kojoj treba se primjeniti. Jednako tako, projekt ne završava sadnjom vegetacije ili završetkom građevinskih radova. Upravljanje, održavanje i praćenje određuju je li će NbS dugoročno ostvarivati funkcije zbog kojih je realizirana.

Fang i suradnici (2024) pokazuju da su upravo praktični aspekti provedbe i prenošenja rješenja u nove kontekste među slabije istraženim poljima istraživanja NbS. Dokumentovanje iskustava iz pojedinačnih projekata zato ima vrijednost koja prevazilazi sam projekt: ono omogućava da sljedeća intervencija ne počinje ponovo od nule.

Kontrolna lista prije početka NbS projekta

Cilj i lokacija

- Je li je jasno definirano koji problem NbS treba rješavati?

INTERCLIM

- Je li su analizirani lokalni klimatski i prostorni uvjeti?
- Je li su provjerene postojeće nadzemne i podzemne instalacije i infrastruktura?
- Je li postoje tehničke, prostorne i administrativne prepreke?

Projektiranje i izvođenje

- Je li su uključene sve potrebne struke?
- Je li su provjereni tehnički, sigurnosni i regulatorni zahtjevi?
- Je li su provjereni nosivost, voda, tlo i infrastruktura?
- Je li su vegetacija, supstrat i konstrukcija usklađeni?
- Je li su provjerena kvaliteta vode i sezonske potrebe biljaka?
- Je li je jasno koje dozvole i saglasnosti treba pribaviti?
- Je li su dokumentovani izvedeni radovi i ispitani sustavi?
- Je li postoji realna vremenska i financijska rezerva za nepredviđene situacije?

Održavanje

- Ko preuzima NbS nakon završetka projekta?
- Ko je odgovoran za redovito održavanje?
- Je li ta institucija/organizacija ima potrebno znanje, ljude i opremu?
- Je li su dugoročni troškovi održavanja predviđeni proračunom?
- Je li je sustav projektiran tako da mu se može jednostavno pristupiti radi održavanja?

Praćenje i učenje

- Je li je definirano što želimo da pratimo i zašto?
- Postoje li podaci prije intervencije sa kojima se stanje nakon provedbe može porediti (referentne tačke)?
- Je li se evidentiraju problemi i izmjene tijekom realizacije?
- Je li će naučene lekcije biti dokumentovane i dostupne budućim projektima?

Vrednovanje i naučene lekcije

- Kako se mijenjaju vegetacija, funkcionalnost i korisničko iskustvo?
- Što treba izmijeniti pri narednoj intervenciji?

Praktična iskustva pokazuju da se vrijednost rješenja temeljenih na prirodi ne može procjenjivati samo na temelju završetka montaže ili početnog vizualnog efekta. Zeleni krov i vanjski zeleni zid u Novom Sadu otkrivaju važnost pouzdanog navodnjavanja, održavanja i zaštite konstrukcije; unutarnji zid pokazuje da i jednostavniji sustavi imaju specifične sezonske potrebe; zelene sobe otvaraju pitanja razvoja vegetacije, korištenja javnog prostora i prostornog dometa mikroklimatskih koristi. Primeri Nitre i Wrocława dodatno naglašavaju važnost usklađivanja zelenih intervencija sa urbanom infrastrukturuom i lokalnim upravljanjem. Ključni korak je prijelaz sa pojedinačne provedbe na dugoročno upravljanje, vrednovanje i učenje.

INTERCLIM

KORIŠTENJA LITERATURA I IZVORI

Castellar, J. A., Popartan, L. A., Pucher, B., Pineda-Martos, R., Hecht, K., Katsou, E., ... & Pueyo-Ros, J. (2024). What does it take to renature cities? An expert-based analysis of barriers and strategies for the implementation of nature-based solutions. *Journal of Environmental Management*, 354, 120385.

European Commission (2021). Evaluating the Impact of Nature-based Solutions: A Summary for Policy Makers.

European Environment Agency – EEA (2021). Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction. European Environment Agency.

Fang, X., Li, J., Ma, Q., Zhou, R., & Du, S. (2024). A quantitative review of nature-based solutions for urban sustainability (2016–2022): From science to implementation. *Science of the Total Environment*, 927, 172219.

Frantzeskaki, N. (2019). Seven lessons for planning nature-based solutions in cities. *Environmental science & policy*, 93, 101–111.

IUCN (2020). Guidance for Using the IUCN Global Standard for Nature-based Solutions.

Savić, S., Krstić, H., Šećerov, I. & Dunjić, J. (2024). Decreasing the energy demand in public buildings using nature-based solutions: case studies from Novi Sad (Republic of Serbia) and Osijek (Republic of Croatia). *Energy, Sustainability and Society*, 14, 23. <https://doi.org/10.1186/s13705-024-00455-2>

Sánchez Francés, R., Dogan, O., & de Ferrari, A. (eds) (2023). URBAN GreenUP Legacy: Lessons learnt on NbS implementation in the URBAN GreenUP cities. Handbook

URBACT (2025). Inspiring practices on nature-based solutions and green infrastructure

INTERCLIM

3. Društvene i gospodarske koristi rješenja utemeljene na prirodi

3.1 Uvod

Rješenja utemeljena na prirodi (Nature-based Solutions – NbS) doprinose otpornosti na klimatske promjene, a istodobno donose niz društvenih i gospodarskih koristi koje konvencionalna siva infrastruktura rijetko pruža. Šume, močvare, mangrove, poplavna područja, zeleni krovovi i gradsko drveće smanjuju rizike poput poplava, toplinskih valova i erozije, a istodobno stvaraju radna mjesta, poboljšavaju zdravlje, podupiru sredstva za život i povećavaju vrijednost nekretnina.

Unatoč tome, NbS se i dalje nedovoljno koriste u razvojnim financijama. Glavni su razlozi praktične prirode: njihove su koristi raspoređene među velikim brojem ljudi i ostvaruju se tijekom mnogo godina, teže ih je kvantificirati nego, primjerice, učinak betonskog zida, a nositelji projekata često nemaju metodologiju za usporedbu s alternativama sive infrastrukture. Ova publikacija sažima način na koji Svjetska banka definira, financira, procjenjuje i prati NbS te kako se njihove koristi i troškovi mogu vrednovati kako bi u investicijskim odlukama bili ravnopravno usporedivi s drugim opcijama. Na kraju se prikazuju primjeri gradova i noviji podaci Programa Ujedinjenih naroda za okoliš (UNEP) o financiranju prirode u gradovima.

3.2 Definiranje NbS-a i NbS za otpornost na klimatske promjene

Međunarodno usuglašena definicija potječe od Skupštine Ujedinjenih naroda za okoliš (UNEA-5, ožujak 2022.). Prema toj

definiciji, NbS su aktivnosti kojima se štite, očuvaju, obnavljaju, održivo koriste i upravljaju prirodnim ili izmijenjenim kopnenim, slatkovodnim, obalnim i morskim ekosustavima. Te aktivnosti moraju učinkovito i prilagodljivo odgovarati na društvene, gospodarske i okolišne izazove, istodobno pridonoseći dobrobiti ljudi, uslugama ekosustava, otpornosti i bioraznolikosti. I Svjetska banka i UNEP prihvaćaju ovu formulaciju u analiziranim izvješćima (United Nations Environment Programme [UNEP], 2024a; van Zanten i suradnici, 2023).

Definicija se temelji na okviru Međunarodne unije za očuvanje prirode (IUCN), čijih je osam načela NbS-a analizirano u radu Cohen-Shacham i suradnici (2019). Tri načela razlikuju NbS od ranijih pristupa utemeljenih na ekosustavima: mogu se kombinirati s drugim rješenjima, primjenjuju se na razini krajobraza te se integriraju u šire oblikovanje politika. Seddon i suradnici (2020) dodaju važno upozorenje za znanstvenu uporabu ovog pojma: NbS nisu zamjena za smanjenje emisija, a njihove koristi ovise o očuvanim ekosustavima bogatim bioraznolikošću i uključivanju lokalnog stanovništva.

NbS za otpornost na klimatske promjene podskup su ovog šireg pojma: riječ je o rješenjima čiji je izričiti cilj smanjiti klimatske i katastrofalne rizike. Svjetska banka pod isti pojam svrstava povezane pristupe, uključujući smanjenje rizika od katastrofa utemeljeno na ekosustavima (Eco-DRR), prilagodbu utemeljenu na ekosustavima (EbA) i zelenu infrastrukturu (World

INTERCLIM

Bank, 2023). Ključ je u funkciji. Šuma zasađena isključivo radi skladištenja ugljika nije NbS za otpornost na klimatske promjene; zaštitna šuma koja dokazano štiti dolinu od klizišta jest.

Smjernice Svjetske banke identificiraju 11 „skupina” NbS-a za otpornost na klimatske promjene: urbane i brdske šume; terase i padine; rijeke i poplavna područja; urbano zelenilo; ribnjaci, jezera i mala vodna tijela; kopnene močvare; šume mangrova; druge obalne močvare; pješčane obale i dine; grebenski ekosustavi; te potopljena vodena vegetacija poput morskih cvjetnica i kelpa (van Zanten et al., 2023). Svaka skupina na drugačiji način regulira rizike te stoga zahtijeva vlastitu metodu kvantificiranja koristi.

3.3 Fondovi i programi Svjetske banke za NbS

Glavni namjenski instrument Svjetske banke jest Globalni program za rješenja utemeljena na prirodi za otpornost na klimatske promjene (Global Program on Nature-Based Solutions for Climate Resilience – GPNBS), osnovan 2021. godine. Program je smješten u okviru Globalnog fonda za smanjenje rizika od katastrofa i oporavak (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery – GFDRR), a financiraju ga GFDRR i Globalno partnerstvo za vodnu sigurnost i sanitaciju (Global Water Security and Sanitation Partnership – GWSP) (World Bank, 2023). Nastao je iz interne radne skupine za NbS osnovane u godini 2017.

Tablica 2. Bespovratna sredstva GFDRR-a i financiranje Svjetske banke

Kanal financiranja	Što je financirano	Učinak financijske poluge
Bespovratna sredstva GFDRR-a, FY12–FY21	72 projekta, približno 35 milijuna USD, za 38 od 103 projekta s NbS komponentama	Studije izvedivosti i početne procjene rizika koje su oblikovale zajmove
Bespovratna sredstva GFDRR-a projektima s NbS komponentama odobrenima FY18–FY21	20 projekata, 7,1 milijun USD	Pomogla su mobilizirati 911 milijuna USD, od čega 68 % iz IDA-e
Svi projekti GFDRR-a za NbS, FY18–FY21	43 projekta, 22,4 milijuna USD	14 njih (11,6 milijuna USD) pomoglo je mobilizirati 2,3 milijarde USD

Napomena: Podaci prema World Bank (2023).

GPNBS je međusektorski program. Surađuje s globalnim praksama za vode; okoliš, prirodne resurse i plavo gospodarstvo (ENB); urbani razvoj, otpornost i zemljište (URL); te financije, konkurentnost i inovacije. Njegova se misija sastoji od tri dijela: operativne potpore projektnim timovima, ciljanog znanja i alata te unutarnjih i vanjskih partnerstava. Višedonatorski fondovi služe kao početni kapital za znatno veće

zajmove (Tablica 2).

NbS su također dio korporativnih strategija Svjetske Banke: Akcijskog plana za klimatske promjene 2021.–2025., odgovora na gospodarski oporavak nakon bolesti COVID-19 te pristupa zelenom, otpornom i uključivom razvoju (Green, Resilient and Inclusive Development – GRID). Financiranje klimatskih aktivnosti poraslo je s 10,9 milijardi USD u FY16 na 26,6 milijardi USD u FY21, čime se proširio fond sredstava iz ko-

INTERCLIM

je se financiraju komponente NbS-a (World Bank, 2023).

3.4 NbS u portfelju Svjetske banke: ključni statistički podaci

Pregled portfelja Svjetske banke utvrdio je 103 kreditna projekta s NbS komponentama odobrena između FY12 i FY21, pri čemu je vrijednost tih komponenti iznosila približno 5,53 milijarde USD, od čega je 64 % dolazilo iz Međunarodne razvojne aso-

cijacije (IDA) (World Bank, 2023). U predgovoru smjernica navodi se da su ukupne obveze povezane s NbS-om tijekom prethodnog desetljeća premašile 5 milijardi USD (van Zanten i suradnici, 2023).

Trend je uzlazan. Godišnji broj odobrenja povećao se za 122 % između FY12 i FY21, s 13 projekata u FY18 na 20 projekata u FY21. Kumulativno financiranje komponenti NbS-a u FY21 bilo je 317 % veće nego u FY16 (World Bank, 2023). Tablica 3 sažima obilježja portfelja.

Tablica 3. Profil projekata Svjetske banke s NbS komponentama, FY12–FY21

Dimenzija	Nalaz
Vodeći sektori	Oko 75 % projekata vode globalne prakse URL i ENB
Regije	Afrika 44 %, Istočna Azija i Pacifik 22 %
Krhke države i države pogođene sukobima	25 % projekata
Najmanje razvijene zemlje	47 % projekata; 83 % u zemljama s niskim ili nižim srednjim dohotkom
Male otočne države u razvoju	Samo 8 %
Najčešće obuhvaćeni rizici	Riječne poplave (40 projekata), unutarnja erozija (36), urbane poplave (33)
Najčešće korištene vrste NbS-a	Urbana zelena područja (33), travnjaci i vegetacija (30), šume (28)
Zelena nasuprot hibridnoj infrastrukturi	46 % isključivo zelena; ostali projekti kombiniraju zelenu i sivu infrastrukturu
Uključivanje zajednice i rodna ravnopravnost	65 % uključuje zajednice izvan razine konzultacija; 65 % ima oznaku Gender Tag

Napomena: Podaci prema World Bank (2023).

Najuočljiviji je društveni profil. Ulaganja u NbS koncentrirana su u najsiromašnijim i najranjivijim zemljama, a dvije trećine projekata uključuje sudjelovanje zajednice i ishode povezane s rodnom ravnopravnošću.

3.5 Šest koraka za procjenu koristi i troškova NbS-a

Smjernice Svjetske banke utvrđuju šest analitičkih koraka koje treba sadržavati svaka procjena koristi i troškova NbS-a, neovisno o veličini projekta (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery [GFDRR], n.d.; van Zanten i suradnici, 2023):

INTERCLIM

1. **Određivanje opsega koristi.** Identificirati tri ili četiri ključne koristi za lokalno stanovništvo putem stručne procjene, savjetovanja s dionicima ili participativnog kartiranja. Koristi se razlikuju od mjesta do mjesta, stoga se ovaj korak ne može preskočiti.

2. **Definiranje okvira za donošenje odluka.** Odabrati način usporedbe troškova i koristi: analizu troškova i koristi (CBA), višekriterijsku analizu (MCA), analizu troškovne učinkovitosti (CEA) ili robusno donošenje odluka (RDM). Taj izbor oblikuje sve kasnije metode.

3. **Procjena opasnosti i rizika.** Utvrditi klimatske i katastrofalne rizike na potencijalnim lokacijama, poput rizika od poplava, erozije, topline, suše i klizišta.

4. **Vrednovanje koristi od smanjenja rizika.** Koristiti fizikalne modele utemeljene na procesima i procjenu šteta, kao u konvencionalnoj analizi rizika od katastrofa, kako bi se kvantificiralo koliko NbS smanjuje rizik.

5. **Vrednovanje ostalih koristi.** Vrednovati dodatne koristi kao što su hrana, sirovine, pitka voda, bioraznolikost, turizam, rekreacija i regulacija klime.

6. **Vrednovanje troškova.** Obuhvatiti kapitalne i operativne troškove, kao i oportunitetne troškove, transakcijske troškove i negativne učinke.

Na svih šest koraka primjenjuju se četiri načela: a) vrednovati i smanjenje rizika i ostale koristi jer NbS služe velikom broju dionika; b) uključiti dionike kako bi se utvrdile lokalno relevantne koristi; c) uzeti u obzir neizvjesnost jer povijesni klimatski podaci možda neće vrijediti tijekom cijelog životnog vijeka projekta; i d) uključiti procjenu u identifikaciju, projektiranje, provedbu i evaluaciju učinaka projekta, a ne samo u fazu procjene (van Zanten i suradnici, 2023).

3.6 Tri razine analize

Nije svakom projektu potrebna jednaka dubina analize. Smjernice predlažu tri razine, prilagođene fazi projekta te dostupnim podacima, vremenu, proračunu i stručnosti (van Zanten i suradnici, 2023), kako je prikazano u Tablici 4.

Tablica 4. Razine analize za vrednovanje NbS-a

Razina	Metode	Tipična primjena	Potrebni resursi
Razina 1	Brza procjena uz korištenje globalno dostupnih podataka i stručne procjene	Strateški i početni rad, faza prije koncepta, zagovaranje	Ograničeni
Razina 2	Uglavnom globalni geoprostorni i gospodarski podaci, uz uključivanje dionika; precizniji rezultati prilagođeni kontekstu	Identifikacija i priprema projekta, prethodna procjena izvedivosti, gospodarska i financijska analiza	Umjereni
Razina 3	Prikupljanje lokalnih podataka (intervjui, fokusne skupine, terensko promatranje) uz najveću razinu preciznosti	Procjena izvedivosti i projektiranje, potpora provedbi, praćenje učinaka	Opsežni

Napomena: Prilagođeno prema van Zanten i suradnici (2023).

INTERCLIM

Odabir razine vodi se dvama pitanjima. Prvo, koji je cilj procjene? Podizanje svijesti klijenata i financijera zahtijeva manju razinu rigoroznosti nego određivanje lokacije i projektiranje intervencije. Drugo, koliko je dostupno podataka, vremena i novca? Analiza postojećih podataka, poput studija rizika od poplava ili računa prirodnog kapitala, često omogućuje financiranje procjene više razine.

Više razine daju preciznije rezultate, ali su skuplje. Jedan projekt može postupno prelaziti na više razine kako napreduje kroz projektni ciklus.

3.7 Koristi NbS-a: definicija, tok koristi i smanjenje rizika

Smjernice definiraju koristi kroz usluge ekosustava, odnosno doprinose dobrobiti ljudi, i dijele ih u dvije vrste (van Zanten i suradnici, 2023):

- **Koristi od smanjenja rizika** jesu usluge kojima je primarni cilj reguliranje klimatskih i katastrofalnih rizika: poplava, erozije, topline, suše i opskrbe vodom te rizika od klizišta.
- **Ostale koristi (dodatne koristi)** jesu širi društveni dobici: hrana i sirovine, pitka voda, bioraznolikost, turizam i rekreacija, kvaliteta vode, zdravlje i globalna regulacija klime.

3.7.1 Tok koristi NbS-a

Koristi se prate kroz lanac koji povezuje određenu aktivnost s dobrobiti ljudi putem ekološke ili fizičke „proizvodne funkcije”. Primjer obalne močvare iz smjernica sastoji se od četiri povezana elementa (van Zanten i suradnici, 2023):

1. **Aktivnost:** obnova obalne močvare.

2. **Procesi:** vegetacija usporava valove i olujne valove; veća količina staništa povećava proizvodnju ribe.

3. **Usluge:** manje poplava; veća biomasa ribe.

4. **Koristi za ljude:** manje štete od poplava; veći prihodi od ribarstva.

Svaka se poveznica mjeri kao promjena u odnosu na scenarij bez projekta ili alternativni scenarij. Čak i degradirano područje pruža određene usluge, stoga se mora izmjeriti i početno stanje. Ista logika primjenjuje se na sivu infrastrukturu, koja također ima utjecaje na okoliš i koje treba uključiti radi poštene usporedbe.

3.7.2 Dokazi o koristima od smanjenja rizika

Samo koristi od smanjenja rizika često su dovoljno velike da opravdaju ulaganje:

- Globalni omjeri koristi i troškova za zaštitu mangrova u svrhu obalne zaštite premašuju 5 : 1 (Global Commission on Adaptation, 2019, prema van Zanten i suradnici, 2023).
- Procjenjuje se da mangrove u svijetu svake godine spriječe štetu od poplava u vrijednosti od 65 milijardi USD (Menéndez i suradnici, 2020), a koraljni grebeni oko 4 milijarde USD (van Zanten i suradnici, 2023).
- Prosječna vrijednost zaštite od poplava iznosi oko 91.000 USD po km² godišnje za obalne močvare (Sun & Carson, 2020) te 461.000 USD po km² godišnje za mangrove (Menéndez i suradnici, 2020).
- Koraljni grebeni u SAD-u pružaju više od 1,8 milijardi USD godišnje u smanjenju rizika od poplava (Storlazzi i suradnici, 2019, prema van Zanten i suradnici, 2023).
- Promjena pokrova drveća u Baltimoreu od 10 % povezana je s 80–250 manje smrtnih slučajeva godišnje povezanih s toplinom, čija

INTERCLIM

se vrijednost procjenjuje na 0,7–2,0 milijarde USD (Sinha i suradnici, 2021).

To su donje procjene jer ne uključuju dodatne koristi, poput turizma povezanog s koraljnim grebenima, čija se vrijednost procjenjuje na gotovo 36 milijardi USD godišnje (Spalding i suradnici, 2017, prema van Zanten i suradnici, 2023).

3.7.3 Što pokazuje recenzirana znanstvena literatura

Tri sustavna pregleda i meta-analize podupiru ove podatke, ali istodobno ukazuju na njihova ograničenja (Tablica 5).

Tablica 5. Sustavni pregledi i meta-analize učinkovitosti i troškovne učinkovitosti NbS-a

Studija	Baza dokaza	Glavni nalaz
Chausson i suradnici (2020)	Prva globalna sustavna karta učinkovitosti NbS-a za prilagodbu	59 % od 293 intervencija iz stvarnog svijeta smanjilo je klimatske učinke; 12 % pogoršalo je neke učinke; NbS su obično bili jednako ili više učinkoviti od alternativa, ali studije troškovne učinkovitosti bile su rijetke
Vicarelli i suradnici (2024)	Pregled 87 ekonomskih studija o NbS-u za smanjenje rizika od katastrofa, 2000.–2021.	71 % studija utvrdilo je da su NbS dosljedno troškovno učinkoviti, a 24 % da su troškovno učinkoviti pod određenim uvjetima; među studijama koje uspoređuju NbS s inženjerskim rješenjima, 65 % utvrdilo je da su NbS uvijek, a 26 % djelomično učinkovitiji
Huynh i suradnici (2024)	Globalna meta-analiza čvrstih, hibridnih, mekih i prirodnih obalnih zaštitnih rješenja	Meke i hibridne mjere troškovno su učinkovitije od čvrstih; hibridna rješenja pružaju najveće smanjenje rizika; sve opcije ostvaruju pozitivan gospodarski povrat tijekom 20 godina

Dokazi stoga idu u prilog NbS-u, ali ne bezuvjetno. Rezultati ovise o lokaciji, stanju ekosustava, vlasništvu i pravima na zemljištu, financiranju i primijenjenoj metodi vrednovanja (Vicarelli i suradnici, 2024). Stvoreni ekosustavi, poput pošumljavanja, mogu uključivati kompromise, primjerice smanjenu dostupnost vode (Chausson i suradnici, 2020). Hibridna zelena-siva rješenja često daju najbolje rezultate (Huynh i suradnici, 2024), što je u skladu s udjelom od 54 % hibridnih projekata u portfelju Svjetske banke (World Bank, 2023).

Smjernice također prikazuju cjelokupni skup koristi kao **trostruku divi-dendu otpornosti**: izbjegnute štete, potaknuti gospodarski razvoj te društvene i

okolišne dodatne koristi (van Zanten i suradnici, 2023).

3.8 Nova radna mjesta koja stvaraju NbS

NbS zahtijevaju mnogo rada, pa izravno stvaraju radna mjesta i neizravno štite postojeća. Izgradnja te dugoročno upravljanje i održavanje čine ih pokretačima lokalnog zapošljavanja, a projekti se mogu oblikovati tako da zapošljavaju lokalno stanovništvo (van Zanten i suradnici, 2023, Box 3-1).

Izravna radna mjesta mogu se podijeliti u dvije skupine. Kratkoročna radna mjesta uključuju sadnju drveća radi pošumljavanja, sadnju vegetacije i uklanjanje

INTERCLIM

invazivnih vrsta. Dugoročna radna mjesta obuhvaćaju održavanje: ponavljano suzbijanje invazivnih vrsta, obrezivanje i ponovnu sadnju. Neizravna zaštita proizlazi iz manjeg broja prekida uzrokovanih poplavama i klizanjima te iz zdravijih ekosustava koji održav-

aju sredstva za život povezana s ribarstvom, poljoprivredom i turizmom.

Dokazi prikupljeni u smjernicama Svjetske banke pokazuju visoku radnu intenzivnost po uloženom dolaru (Tablica 6).

Tablica 6. Broj radnih mjesta stvorenih na svakih 1 milijun USD ulaganja u aktivnosti NbS-a

Aktivnost	Radna mjesta na 1 milijun USD ulaganja	Izvor
Pošumljavanje, obnova šuma, borba protiv dezertifikacije (uglavnom gospodarstva u razvoju)	275–625 izravnih radnih mjesta	WWF (2020)
Poboljšanje slivnih područja	166–500 izravnih radnih mjesta	WWF (2020)
Stvaranje i upravljanje urbanim zelenim površinama	24–250 izravnih radnih mjesta	WWF (2020)
Obnova i održivo gospodarenje šumama, Sjedinjene Američke Države	oko 39,7 izravnih i neizravnih radnih mjesta	Heintz i suradnici (2009)
Zaštita obalnih ekosustava	17 radnih mjesta	Edwards i suradnici (2013)

Napomena: WWF (2020) i Heintz i suradnici (2009), prema van Zanten i suradnici (2023).

Na makroekonomskoj razini Svjetski gospodarski forum procjenjuje da bi prijelaz na modele koji pozitivno djeluju na prirodu u tri socioekonomska sustava do 2030. mogao donijeti dodatnih 10,1 bilijun USD godišnje poslovne vrijednosti i 395 milijuna radnih mjesta (World Economic Forum, 2020, prema van Zanten i suradnici, 2023). U Sjedinjenim Američkim Državama procjenjuje se da svaki dolar uloženi u obnovu prirode donosi najmanje 9 USD gospodarskih koristi (van Zanten i suradnici, 2023).

Portfelj Svjetske banke potvrđuje tu povezanost u praksi. Oko 12 % projekata odobrenih u FY20–FY21 izravno je koristilo NbS za ublažavanje učinaka pandemije bolesti COVID-19, primjerice kroz pošumljavanje koje provode lokalne

zajednice. Projekt Resilient Urban Sierra Leone tijekom pandemije stvorio je više od 550 radnih mjesta, uglavnom za žene i mlade. U Indiji projekt Green National Highways Corridor Project ima za cilj osposobiti 2.500 žena za vještine, uključujući bioinženjerstvo za radove na cestama (World Bank, 2023).

3.9 Vrednovanje koristi u odnosu na troškove: okvir za donošenje odluka

Okvir za donošenje odluka povezuje metodu vrednovanja s kontekstom odlučivanja o projektu kako bi se osiguralo da tim ne troši više sredstava na analizu nego što je potrebno za donošenje odluke (van Zanten i suradnici, 2023, poglavlje 5). On ob-edinjuje tri izbora.

INTERCLIM

Prvo, **faza projektnog ciklusa** – vrednovanje ima različite svrhe u svakoj fazi. U početnim fazama podiže svijest i identificira područja u kojima bi NbS mogli biti primjenjivi. Tijekom identifikacije i pripreme podupire prethodnu procjenu izvedivosti te gospodarsku i financijsku analizu. U fazi procjene provjerava gospodarsku održivost.

Tijekom provedbe i nakon nje osigurava pokazatelje za praćenje i evaluaciju učinaka.

Drugo, **razina analize** (odjeljak 5), određena ciljem te dostupnim podacima, vremenom i proračunom.

Treće, **okvir za donošenje odluka**, koji određuje način usporedbe koristi i troškova (Tablica 7).

Tablica 7. Okviri za donošenje odluka pri usporedbi opcija NbS-a

Okvir	Način usporedbe opcija	Kada je primjeren
Analiza troškova i koristi (CBA)	Sve koristi i troškovi izraženi u novcu; neto sadašnja vrijednost, omjer koristi i troškova, interna stopa povrata	Kada se većina koristi može monetizirati; standardna metoda za procjenu projekata
Analiza troškovne učinkovitosti (CEA)	Trošak po jedinici unaprijed određenog ishoda, primjerice broju zaštićenih kućanstava	Kada je cilj unaprijed zadan i traži se samo najjeftiniji način njegova ostvarivanja
Višekriterijska analiza (MCA)	Bodovanje i ponderiranje monetarnih i nemonetarnih kriterija	Kada se ključne koristi teško mogu monetizirati ili ih dionici različito vrednuju
Robusno donošenje odluka (RDM)	Učinkovitost kroz velik broj mogućih klimatskih i socioekonomskih budućnosti	Kada postoji velika neizvjesnost o budućim uvjetima

Napomena: Na temelju van Zanten i suradnici (2023).

U svakom od ovih pristupa važne su dvije razlike. **Gospodarska procjena** obuhvaća sve koristi i troškove za društvo, uključujući javna dobra poput zaštite od poplava. **Financijska procjena** obuhvaća samo ono što se odražava u tržišnim cijenama. Financijska perspektiva objašnjava postojeće poticaje, primjerice zašto se mangrove krče, te pomaže u oblikovanju sustava plaćanja, kredita za otpornost ili tržišta ugljika kojima se javne koristi pretvaraju u prihode (van Zanten i suradnici, 2023).

Razlikuje se i vremenska dinamika. Siva infrastruktura ima dugo razdoblje izgradnje i visoke početne troškove, dok NbS obično imaju niže početne troškove, ali zahtijevaju kontinuirana operativna ulaganja i potrebno je više godina da ostvare pune koristi. Stoga diskontnu stopu i razdoblje analize treba pažljivo odabrati jer bi u protivnom NbS mogli biti podcijenjeni.

INTERCLIM

3.10 Vrednovanje koristi od smanjenja rizika u četiri koraka

Standardna metoda jest metoda **izbjegnutih šteta**: korist NbS-a predstavlja štetu koja se više ne događa zahvaljujući njevoj prisutnosti. Smjernice ovaj pristup definiraju kroz četiri koraka, uspoređujući scenarij bez NbS-a sa scenarijem u kojem je NbS proveden (van Zanten i suradnici, 2023, Slika 4-1):

1. **Procjena intenziteta opasnosti** – modelirati opasnost, primjerice dubinu poplave, visinu valova, temperaturu ili nestabilnost padine, za događaje različitih vjerojatnosti, u sadašnjosti i prema klimatskim scenarijima.
2. **Procjena učinka NbS-a na intenzitet opasnosti** – modelirati način na koji rješenje mijenja opasnost: ublažavanje valova pomoću mangrova, zadržavanje oborinskog otjecanja pomoću gradskog drveća, zasjenjivanje i evapotranspiraciju zelenih površina.
3. **Procjena gospodarskih učinaka u oba scenarija** – preklopiti karte opasnosti s izloženim stanovništvom, zgradama, infrastrukturom i gospodarskom aktivnošću te primijeniti funkcije štete kako bi se procijenili gubici sa NbS-om i bez njega.
4. **Izračun koristi od smanjenja rizika** – izračunati razliku u gubicima između dvaju scenarija za sve vjerojatnosti događaja, čime se dobiva očekivana godišnja izbjegnuta šteta, a zatim je diskontirati tijekom životnog vijeka projekta.

Rezultat se izravno uključuje u analizu troškova i koristi na istoj osnovi kao nasip ili odvodni kanal. Gubici mogu obuhvaćati više od materijalne štete: izbjegnute smrtno slučajeve vrednovane putem vrijednosti statističkog života, gubitke produktivnosti, energiju potrebnu za hlađenje i prekide poslovanja, ovisno o vrsti opasnosti.

3.11 Alternativni pristupi i vrednovanje drugih koristi

Potpuno modeliranje šteta nije uvijek moguće. Kada nema dovoljno podataka ili vremena, smjernice nude alternative na dvije razine (van Zanten i suradnici, 2023).

Pristupi utemeljeni na indeksima

Indeksi rangiraju opasnost ili ranjivost bez njezina pretvaranja u novčanu vrijednost. Primjeri navedeni u smjernicama uključuju Indeks obalne ranjivosti (Coastal Vulnerability Index), Indeks podložnosti klizištima (Landslide Susceptibility Index), indekse suše poput Standardiziranog indeksa oborina (Standardized Precipitation Index) te indekse urbanih toplinskih otoka. Prikladni su za probir na Razini 1 i višekriterijsku analizu: uspoređivanje lokacija, određivanje prioriteta i pokazivanje na kojim bi lokacijama NbS najviše promijenio rezultat.

Novčane alternative potpunom modeliranju šteta

Kada je potrebna novčana vrijednost, ali je modeliranje šteta preskupo, mogu se koristiti jednostavniji novčani pokazatelji. Troškovi izbjegavanja ili zamjene vrednuju NbS prema sivoj infrastrukturi koju omogućuje izbjeći, kao u Lancasteru (odjeljak 13). Vrijednosti nekretnina i zemljišta odražavaju smanjenje rizika kroz cijene, kao u primjeru Buenos Airesa iz smjernica, gdje se procjenjuje vrijednost zemljišta nastala smanjenjem rizika od poplava. Izbjegnuti gubitak života primjenjuje vrijednost statističkog života na modelirana smanjenja smrtnosti.

INTERCLIM

Četiri pristupa vrednovanju drugih koristi

Dodatne koristi vrednuju se standardnim instrumentima okolišne ekonomije:

1. **Metode tržišnih cijena** za robu kojom se trguje: riba, drvo, poljoprivredni proizvodi, voda i prihodi od turizma.
2. **Metode otkrivenih preferencija** koje vrijednost izvode iz ponašanja: putni trošak za rekreaciju i hedoničko određivanje cijena za zelene površine u blizini stambenih objekata.
3. **Metode iskazanih preferencija** koje izravno pitaju ljude: kontingentno vrednovanje i eksperimenti izbora, koji predstavljaju glavni način vrednovanja bioraznolikosti i drugih neuporabnih vrijednosti.
4. **Prijenos vrijednosti** kojim se vrijednosti prilagođavaju iz ranijih studija, primjerice iz Baze podataka za vrednovanje usluga ekosustava (Ecosystem Services Valuation Database), kada si nova primarna studija ne može priuštiti.

Ugljik predstavlja iznimku jer ima cijenu utvrđenu politikom. Smjernice navode eksplicitnu cijenu ugljika od najmanje 40–80 USD po toni CO₂ do 2020. godine i 50–100 USD do 2030. godine kako bi se ispunili

ciljevi Pariškog sporazuma (van Zanten i suradnici, 2023). Treba izbjegavati dvostruko računanje, primjerice istodobno računanje koristi od opskrbe hranom i zdravstvene koristi iste hrane.

Za urbana područja Raymond i suradnici (2017) nude široko korišten okvir za procjenu dodatnih koristi i troškova. Na temelju pregleda više od 1.700 dokumenata, okvir obuhvaća deset društvenih izazova i povezuje vrednovanje sa sedam faza projektnog procesa, od identifikacije problema do praćenja dodatnih koristi. Nadopunjuje šest koraka Svjetske banke tako što društvene dodatne koristi, poput zdravlja i zelenih radnih mjesta, izričito uključuje od samog početka.

3.12 Pokazatelji NbS-a i rezultati Svjetske banke

Pokazatelji pretvaraju vrednovanje u praćenje. Smjernice preporučuju pokazatelje relevantne za koristi: mjere koje prate promjenu do koje je ljudima doista stalo, a ne samo fizički rezultat projekta (van Zanten i suradnici, 2023). Tablica 8 prikazuje tri primjera razlike između rezultata aktivnosti i koristi.

Tablica 8. Pokazatelji rezultata aktivnosti i pokazatelji relevantni za koristi: tri primjera

Korist	Pokazatelj rezultata aktivnosti (što je izgrađeno)	Pokazatelj relevantan za korist (što se promijenilo za ljude)
Smanjenje rizika od poplava	Hektari obnovljenih močvara	Kućanstva premještena u kategoriju s nižim rizikom od poplava; očekivana godišnja izbjegnuta šteta
Smanjenje topline	Zasađeno drveće, m ² zelenog krova	Smanjenje najviše temperature zraka u izloženim četvrtima; izbjegnuti posjeti bolnicama povezani s toplinom
Sredstva za život	Površina pod održivim upravljanjem	Promjena prihoda od ribarstva, poljoprivrede ili turizma; broj ljudi s poboljšanim sredstvima za život

INTERCLIM

Što je Svjetska banka mjerila

Najčešće praćeni ishodi u okvirima rezultata projekata NbS-a jesu smanjenje poplava (44 projekta), povećanje kapaciteta dionika (38 projekta) te bioraznolikost ili zaštita prirodnih područja (33 projekta) (World Bank, 2023). Završeni projekti iz razdoblja FY12–FY21 izvijestili su o sljedećem:

- obnovljeno je ili pretvoreno u zelene površine više od 1 milijun hektara degradiranog zemljišta;
- obnovljeno je ili pošumljeno gotovo 124.000 hektara šuma ili močvara;
- zaštićeno je 4.600 km obalnih i morskih područja;
- u Malaviju je upravljanje slivom rijeke Shire pomoglo premjestiti 3.155 kućanstava u kategoriju s nižim rizikom od poplava;

- u Tadžikistanu je upravljanje prirodnim resursima pomoglo da više od 50 % korisnika prijavi poboljšanje dobrobiti ili sredstava za život.

Od 18 završenih projekata s izvješćima o završetku, 72 % imalo je pokazatelje koji su pokazivali kako su NbS pridonijeli otpornosti na klimatske promjene. Vlastiti zaključak pregleda jest da mnogim projektima još uvijek nedostaju pokazatelji specifični za NbS te da je zatvaranje tog jaza prioritet (World Bank, 2023).

3.13 Definiranje troškova NbS-a

Trošak NbS-a predstavlja punu vrijednost resursa koje rješenje koristi tijekom svojeg životnog ciklusa, a ne samo trošak izgradnje. Smjernice navode pet komponenti (van Zanten i suradnici, 2023, Tablica 3-3), sažetih u Tablici 9.

Tablica 9. Komponente troškova NbS-a

Komponenta	Što uključuje
Kapitalni izdaci (CAPEX)	Projektiranje i planiranje, dozvole, kupnju zemljišta, preseljenje gdje je potrebno, pripremu lokacije, izgradnju, sadnju drveća
Operativni izdaci (OPEX)	Praćenje, održavanje vegetacije, uklanjanje invazivnih vrsta, plaćanja vlasnicima za korištenje zemljišta, zaštitu i kontrolu pristupa
Transakcijski troškovi	Studije opsega, tehničku pomoć, uključivanje zajednice, utvrđivanje ciljeva i određivanje prioriteta
Oportunitetni troškovi	Vrijednost zemljišta u njegovoj sljedećoj najboljoj uporabi (poljoprivreda, stanovanje, trgovina); lokalna radna snaga i materijali preusmjereni na projekt
Negativni učinci	Negativni učinci poput komaraca u blizini močvara, peludi, pada grana i oštećenja nogostupa korištenjem

Napomena: Prilagođeno prema van Zanten i suradnici (2023).

Tri značajke razlikuju troškove NbS-a od troškova sive infrastrukture. NbS često zahtijevaju više zemljišta, zbog čega vlasništvo i oportunitetni trošak zemljišta imaju središnju ulogu. Njihovi transakcijski

troškovi veći su jer prelaze granice sektora i ovise o vlasništvu i sudjelovanju zajednice. Osim toga, izdaci su raspoređeni kroz vrijeme, uz niži početni kapitalni trošak, ali dugoročne operativne potrebe, pa bi projekti

INTERCLIM

trebali unaprijed odrediti izvor financiranja i odgovornu instituciju za održavanje nakon završetka projekta.

Jedno pravilo sprječava čestu pogrešku: isti se trošak ne smije računati dvaput. Ako je kupnja zemljišta uključena u CAPEX, oportunitetni trošak tog zemljišta ne smije se ponovno dodati.

3.14 NbS u praksi: četiri primjera gradova

Četiri slučaja obuhvaćaju različite rizike, kontinente i metode vrednovanja (Tablica 10). Zajedno pokazuju da se NbS isplate kada se uzme u obzir njihov puni raspon koristi.

Tablica 10. Četiri primjera ugradnje NbS-a

Grad	NbS	Rizik na koji se odgovara	Ključni rezultat
Guangzhou, Kina	Nacionalni močvarni park Haizhu	Urbana toplina	Višestruke usluge vrednovane radi opravdanja zaštite
Johannesburg, Južna Afrika	Obnova rijeke Jukskei, urbano šumarstvo	Poplave, toplina	Obnovljeno 489 ha, 1.500 radnih mjesta
Phoenix, Sjedinjene Američke Države	Povećanje gradskog pokrova drveća na 25 %	Ekstremna toplina	Omjer koristi i troškova 3,78
Lancaster, Sjedinjene Američke Države	Zelena infrastruktura za oborinske vode na razini cijelog grada	Urbane poplave, prelijevanje kanalizacijskog sustava	Izbjegnuto 120 milijuna USD kapitalnih troškova sive infrastrukture

Kina: Nacionalni močvarni park Haizhu, Guangzhou

Haizhu je močvarno područje površine 11 km² u središtu Guangzhoua i jedna od osam studija slučaja u smjernicama Svjetske banke, gdje služi kao primjer urbanih močvara za smanjenje topline (van Zanten i suradnici, 2023, studija slučaja 2). U suradnji s Natural Capital Project, Svjetska banka modelirala je urbano hlađenje, skladištenje i sekvencijaciju ugljika, fizičko i mentalno zdravlje te rekreaciju (Natural Capital Project, n.d.; World Bank, 2022). Rezultati su gradskim planerima pružili argumente za očuvanje močvare od pritiska urbanog razvoja. Lokalni su planeri također naučili koristiti model hlađenja za usporedbu

projektnih rješenja za novu četvrt Knowledge City.

Haizhu je dio nacionalne politike. Kina je 2014. pokrenula koncept „Spužvastog grada” (Sponge City) radi rješavanja površinskih urbanih poplava, pročišćavanja oborinskog otjecanja, smanjenja vršnih protoka i očuvanja vode kroz zelenu infrastrukturu integriranu u prostorno planiranje (Chan i suradnici, 2018). Haizhu pokazuje kako takva politika izgleda na razini konkretne lokacije.

Johannesburg: obnova rijeke Jukskei

U okviru programa SUNCASA, Johannesburg je obnovio 489 hektara uz sliv rijeke Jukskei uklanjanjem invazivnih biljaka i ponovnom sadnjom autohtone vegetacije. Grad i partneri zasadili su 47.600 stabala,

INTERCLIM

uklonili 664 tone krutog otpada iz rijeke te postavili hidrološku mrežu za praćenje i rano upozoravanje na poplave. Projekt vrijedan 334,38 milijuna R, financiran sredstvima Global Affairs Canada i kojim upravljaju IISD i WRI, zaposlio je 1.500 ljudi i osposobio 200 stalno zaposlenih radnika (Burger, 2026). Projekt pokazuje društvenu korist NbS-a: radna mjesta i razvoj vještina u područjima s niskim prihodima, poput Alexandre i Soweta, uz istodobnu zaštitu od poplava i topline.

Phoenix: drveće protiv ekstremne topline

Gospodarska procjena za The Nature Conservancy, koju je provela tvrtka AECOM, ispitala je povećanje pokrova gradskog drveća u metropolitanskom području Phoenixa na 25 % do 2050. godine. Koristi od približno 15,3 milijarde USD u odnosu na troškove od 4,0 milijarde USD daju omjer koristi i troškova od 3,78 (The Nature Conservancy, 2021). Autori napominju da pokrov drveća donosi i dodatne koristi koje nisu uključene u ovaj omjer.

Lancaster: zelena umjesto sive infrastrukture za oborinske vode

Lancaster u Pennsylvaniji 2011. godine usvojio je Plan zelene infrastrukture za upravljanje oborinskim vodama i prelijevanjem mješovitog kanalizacijskog sustava pomoću kišnih vrtova, propusnih površina, zelenih krovova i drveća. U scenariju od 25 godina plan izbjegava oko 120 milijuna USD kapitalnih troškova sive infrastrukture i 661.000 USD godišnje troškova crpljenja i pročišćavanja otpadnih voda. Također donosi oko 2,8 milijuna USD godišnjih koristi povezanih s energijom, kvalitetom zraka i klimom, što premašuje troškove njegove provedbe (U.S. Environmental Protection Agency, 2014). Lancaster je školski primjer pristupa izbjegnutih troškova iz odjeljka 10.

3.15 Financiranje prirode u gradovima i zaključci

1) Gospodarski argument za NbS je snažan, ali financiranje ga ne prati. UNEP procjenjuje da globalno financiranje NbS-a, koje trenutno iznosi oko 200 milijardi USD godišnje, mora porasti na 542 milijarde USD do 2030. kako bi se ostvarili ciljevi povezani s klimom, bioraznolikošću i degradacijom zemljišta (UNEP, 2024a). Istodobno, približno 7 bilijuna USD godišnje usmjerava se na aktivnosti koje štete prirodi (UNEP, 2024b).

2) Gradovi su posebno važni. U njima živi 4,4 milijarde ljudi, odnosno 56 % svjetskog stanovništva, a oni stvaraju više od 80 % svjetskog BDP-a, odgovorni su za 70 % emisija CO₂ i 75 % korištenja resursa. UNEP identificira četiri nedostatka koja usporavaju primjenu urbanih NbS-a: podaci i znanje, kapaciteti, integracija u glavne politike i financiranje. Temeljni je problem nevidljivost: očuvana močvara može se evidentirati kao izdatak za „obrazovanje”, a program sadnje drveća koji provode mladi kao „razvoj zajednice”, zbog čega nitko ne može vidjeti koliko grad već troši na prirodu (UNEP, 2024a).

3) Odgovor UNEP-a jest **Okvir za urbana rješenja utemeljena na prirodi (Urban NbS Framework)** koji se sastoji od deset elemenata i omogućuje gradskim odjelima da mapiraju i označavaju izdatke za NbS u vlastitim proračunima. Aktivnost se računa samo ako pokazuje namjeru ostvarivanja značajnog doprinosa i dobrobiti ljudi i zdravlju ekosustava, prema kriteriju preuzetom iz taksonomije EU-a. Šest gradova obuhvaćenih studijama slučaja (Quezon City, Curitiba, Dakar, Seattle, Toronto i Mexico City) pokazuju koliko su ti izdaci skriveni. Kapitalni proračun Toronta povezan s klancima i dolinama iznosio je 105,5

INTERCLIM

milijuna CAD u 2022. godini i bio raspoređen među nekoliko odjela, dok je operativni proračun za parkove iznosio 12,6 milijuna CAD. Projekt Pollinator Gardens u

Mexico Cityju osposobio je više od 500 žena za specijalizirano vrtlarstvo, uz cilj od 2.500 žena, izravno povezujući urbanu prirodu sa zelenim radnim mjestima (UNEP, 2024a).

KORIŠTENA LITERATURA I IZVORI

Burger, S. (2026, August 27). Joburg completes environmental cleanup project to boost climate resilience. *Engineering News*. <https://www.engineeringnews.co.za/article/joburg-completes-environmental-cleanup-project-to-boost-climate-resilience-2026-08-27>

Chan, F. K. S., Griffiths, J. A., Higgitt, D., Xu, S., Zhu, F., Tang, Y.-T., Xu, Y., & Thorne, C. R. (2018). "Sponge City" in China—A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. *Land Use Policy*, 76, 772–778. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.03.005>

Chausson, A., Turner, B., Seddon, D., Chabaneix, N., Girardin, C. A. J., Kapos, V., Key, I., Roe, D., Smith, A., Woroniecki, S., & Seddon, N. (2020). Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation. *Global Change Biology*, 26(11), 6134–6155. <https://doi.org/10.1111/gcb.15310>

Cohen-Shacham, E., Andrade, A., Dalton, J., Dudley, N., Jones, M., Kumar, C., Maginnis, S., Maynard, S., Nelson, C. R., Renaud, F. G., Welling, R., & Walters, G. (2019). Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions. *Environmental Science & Policy*, 98, 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.04.014>

Edwards, P. E. T., Sutton-Grier, A. E., & Coyle, G. E. (2013). Investing in nature: Restoring coastal habitat blue infrastructure and green job creation. *Marine Policy*, 38, 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.05.020>

Global Facility for Disaster Reduction and Recovery. (n.d.). *Assessing the benefits and costs of nature-based solutions*. Retrieved October 6, 2026, from <https://www.gfdrr.org/en/feature-story/assessing-benefits-and-costs-nature-based-solutions>

Huynh, L. T. M., Su, J., Wang, Q., Stringer, L. C., Switzer, A. D., & Gasparatos, A. (2024). Meta-analysis indicates better climate adaptation and mitigation performance of hybrid engineering-natural coastal defence measures. *Nature Communications*, 15, Article 2870. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46970-w>

Menéndez, P., Losada, I. J., Torres-Ortega, S., Narayan, S., & Beck, M. W. (2020). The global flood protection benefits of mangroves. *Scientific Reports*, 10, Article 4404. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61136-6>

Natural Capital Project. (n.d.). *Modeling ecosystem services for sustainable urban integration and planning (China's Greater Bay Area)*. Stanford University. Retrieved October 6, 2026, from <https://naturalcapitalalliance.stanford.edu/research/projects/modeling-ecosystem-services-for-sustainable-urban-integration-and-planning>

Raymond, C. M., Frantzeskaki, N., Kabisch, N., Berry, P., Breil, M., Nita, M. R., Geneletti, D., & Calfapietra, C. (2017). A framework for assessing and implementing the co-

INTERCLIM

benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environmental Science & Policy*, 77, 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.008>

Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C. A. J., Smith, A., & Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1794), Article 20190120. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>

Sinha, P., Coville, R. C., Hirabayashi, S., Lim, B., Endreny, T. A., & Nowak, D. J. (2021). Modeling lives saved from extreme heat by urban tree cover. *Ecological Modelling*, 449, Article 109553. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109553>

Sun, F., & Carson, R. T. (2020). Coastal wetlands reduce property damage during tropical cyclones. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(11), 5719–5725. <https://doi.org/10.1073/pnas.1915169117>

The Nature Conservancy. (2021). *Economic assessment of heat in the Phoenix metro area*. https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/TNC_EcoHeatAssessment_AZ_Report.pdf

United Nations Environment Programme. (2024a). *State of finance for nature in cities 2024. From grey to green: Better data to finance nature in cities*. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/46453>

United Nations Environment Programme. (2024b, October 26). *UNEP unveils new framework to track and bridge gap in urban nature finance* [Press release]. <https://www.unep.org/technical-highlight/unep-unveils-new-framework-track-and-bridge-gap-urban-nature-finance>

U.S. Environmental Protection Agency. (2014). *The economic benefits of green infrastructure: A case study of Lancaster, PA* (EPA 800-R-14-007). https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-10/documents/cnt-lancaster-report-508_1.pdf

van Zanten, B., Gutiérrez Goizueta, G., Brander, L., Gonzalez Reguero, B., Griffin, R., Macleod, K. K., Alves, A., Midgley, A., Herrera, L. D., & Jongman, B. (2023). *Assessing the benefits and costs of nature-based solutions for climate resilience: A guideline for project developers*. World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099051523160040893/pdf/P176825-60fac3f5-db6c-4169-ada5-590d5948cb5b.pdf>

Vicarelli, M., Sudmeier-Rieux, K., Alsadadi, A., Shrestha, A., Schütze, S., Kang, M. M., Leue, M., Wasielewski, D., & Mysiak, J. (2024). On the cost-effectiveness of Nature-based Solutions for reducing disaster risk. *Science of the Total Environment*, 947, Article 174524. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174524>

World Bank. (2022). *Assessment of key ecosystem services provided by the Haizhu National Wetland Park in Guangzhou, China*. https://www.thegpsc.org/sites/gpsc/files/haizhu_wetland_report_fin.pdf

World Bank. (2023). *Nature-based solutions for climate resilience in the World Bank portfolio: Fiscal years 2012–2021*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099201003172340531/pdf/P1768250d0db6f0c80bb5b08c648e4d0f18.pdf>

INTERCLIM

4. Energetska učinkovitost i opći doprinos objektima

4.1 Uvod

Zgrade imaju važnu ulogu u svakodnevnom životu, ali istodobno predstavljaju jednog od najvećih potrošača energije. U Europskoj uniji oko 40 % ukupne potrošnje energije povezano je sa zgradama, zbog čega povećanje njihove energetske učinkovitosti predstavlja jedan od važnih koraka prema smanjenju potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova (Maduta i suradnici, 2025). Posljednjih desetljeća zbog toga se velika pozornost posvećuje boljoj toplinskoj zaštiti zgrada, učinkovitijim sustavima grijanja i hlađenja te korištenju obnovljivih izvora energije.

Međutim, klimatske promjene donose nove izazove. Dulja razdoblja visokih temperatura ljeti i sve češći toplinski valovi povećavaju opasnost od pregrijavanja zgrada i potrebu za njihovim hlađenjem. Problem je posebno izražen u gradovima, gdje velika količina betonskih i asfaltiranih površina tijekom dana apsorbira Sunčevu energiju, a zatim je postupno tijekom noći predaje okolini. Zbog toga temperature u gusto izgrađenim područjima mogu biti više nego u njihovoj zelenijoj okolini, što je poznato kao učinak urbanog toplinskog otoka. Istodobno, intenzivne oborine predstavljaju dodatni izazov za gradove jer veliki udio takvih nepropusnih površina ograničava prirodno upijanje vode i povećava opterećenje sustava odvodnje te opasnost od urbanih poplava (IPCC, 2022).

Energetska učinkovitost zgrada stoga se više ne može promatrati samo kroz smanjenje energije potrebne za grijanje i hlađenje, nego i kroz njihovu sposobnost prilagodbe klimatskim uvjetima koji se mijenjaju (Skandalos i Karamanis, 2025).

Jedan od mogućih odgovora na te izazove predstavljaju rješenja temeljena na prirodi (Nature-Based Solutions – NbS). Europska komisija NbS opisuje kao rješenja inspirirana i podržana prirodom koja su troškovno učinkovita, istodobno stvaraju okolišne, društvene i gospodarske koristi te pridonose otpornosti društva (European Commission, 2026).

Njihova je osnovna ideja jednostavna – umjesto da se svaki problem u izgrađenom okolišu rješava isključivo dodatnom tehničkom infrastrukturom, moguće je iskoristiti vegetaciju, tlo, vodu i prirodne procese kako bi se poboljšali uvjeti u zgradama i gradovima.

Zeleni krov dobar je primjer takvog pristupa. Vegetacija i slojevi zelenog krova mogu smanjiti zagrijavanje krovne površine, zadržati dio oborinske vode i povoljno utjecati na mikroklimu neposredno uz zgradu. Slične funkcije mogu imati zelene fasade i zidovi, urbana stabla, zeleni koridori, kišni vrtovi i drugi oblici zelene i plavo-zelene infrastrukture. Njihova posebna vrijednost proizlazi iz mogućnosti da jednom intervencijom odgovore na više problema: od smanjenja toplinskog opterećenja zgrada i ublažavanja urbanog toplinskog otoka do upravljanja oborinskim vodama, povećanja bioraznolikosti i poboljšanja kvalitete urbanog prostora (Wójcik-Madej i suradnici, 2026).

Učinci takvih rješenja istražuju se i u našem neposrednom okruženju. Na javnim zgradama u Osijeku i Novom Sadu provedena su višegodišnja mjerenja kojima je analiziran utjecaj ekstenzivnih zelenih krovova na energetska učinkovitost i mikroklimatske uvjete. Rezultati su pokazali niže temperature u neposrednoj blizini

INTERCLIM

zelenih krovova te poboljšanje toplinskih svojstava krovnih konstrukcija nakon njihove izvedbe (Savić i suradnici, 2026). Time se pokazuje da NbS nisu samo teorijski koncept ili rješenja namijenjena velikim europskim metropolama, nego mogu imati praktičnu primjenu i u klimatskim i urbanim uvjetima Hrvatske i susjednih zemalja.

U nastavku poglavlja prikazat će se mehanizmi kojima NbS pridonosi energetske učinkovitosti zgrada i urbanoj mikroklimi, uz rezultate mjerenja na javnim zgradama u Osijeku i Novom Sadu. Posebna pozornost posvetit će se građevnim materijalima, energetski učinkovitim i nZEB zgradama, ekonomskim i društvenim učincima te kriterijima za sustavnu primjenu NbS-a, uključujući primjer Lublina.

4.2 NbS i energetska učinkovitost zgrada

4.2.1 Od energetske učinkovite prema klimatski otpornoj zgradi

Energetska učinkovitost zgrada tradicionalno se povezuje sa smanjenjem energije potrebne za njihovo korištenje uz istodobno očuvanje ili poboljšanje uvjeta boravka. Uobičajene mjere obuhvaćaju poboljšanje toplinskih svojstava vanjske ovojnice (prozirnih i neprozirnih dijelova), učinkovitije sustave grijanja, hlađenja, ventilacije (Heating, Ventilation, Air Conditioning – HVAC) i pripreme potrošne tople vode, primjenu obnovljivih izvora energije te kvalitetnije upravljanje potrošnjom energije i vode [1]. Takve mjere predstavljaju temelj energetski učinkovite zgrade, a njihovi se učinci mogu vrednovati kroz ostvarene energetske i financijske uštede te smanjenje emisija ugljičnog dioksida. Isti pristup koristi se i pri energetskim pregledima zgrada, gdje se uz svaku predloženu mjeru

razmatraju energetski, ekonomski i okolišni učinci.

Klimatske promjene, međutim, postupno mijenjaju i način na koji se promatra energetska učinkovitost. Sve toplica ljeta i češća razdoblja visokih temperatura povećavaju rizik od pregrijavanja zgrada i potrebu za njihovim hlađenjem. Zbog toga uz smanjenje toplinskih gubitaka tijekom zime sve veću važnost dobiva zaštita od prekomjernih toplinskih dobitaka tijekom ljeta. Pasivne mjere, poput zaštite od Sunčeva zračenja, odgovarajućih svojstava ostakljenja i prirodnog provjetravanja, mogu značajno utjecati na energetske potrebe za hlađenjem (Malla, Kranzl, Müller, 2026). Energetski učinkovita zgrada budućnosti stoga mora biti ne samo štedljiva nego i prilagođena promjenjivim klimatskim uvjetima.

4.2.2 Rješenja temeljena na prirodi kao dio energetske učinkovitosti

Upravo se u povezivanju energetske učinkovitosti i prilagodbe klimatskim promjenama otvara prostor za primjenu rješenja temeljenih na prirodi. Njihova je posebnost u tome što ne djeluju samo na jedan problem. Dobro osmišljeno NbS rješenje može istodobno pridonijeti smanjenju toplinskog opterećenja zgrade, poboljšanju mikroklimatskih uvjeta, upravljanju oborinskim vodama, povećanju bioraznolikosti i kvaliteti urbanog prostora (Evropska komisija, 2026; Chairat i Gheewala, 2024).

Pritom NbS ne treba promatrati kao zamjenu za uobičajene mjere energetske učinkovitosti. Zeleni krov ne može zamijeniti odgovarajuću debljinu toplinske izolacije koja se postavlja na krov i koja je propisana, kao što ni stabla oko zgrade ne mogu nadomjestiti neučinkovit sustav grijanja ili

INTERCLIM

hlađenja. Njihova je vrijednost upravo u nadopunjavanju konvencionalnih tehničkih mjera i mogućnosti istodobnog djelovanja na zgradu i njezin okoliš. Nije ni svaka površina prekrivena vegetacijom automatski NbS koncept. Koncept podrazumijeva korištenje prirodnih procesa radi ostvarivanja više međusobno povezanih koristi. Zbog toga se suvremeni pristupi vrednovanju NbS-a ne ograničavaju samo na jedan pokazatelj, primjerice energetska ušteda, nego obuhvaćaju okolišne, društvene i gospodarske učinke. U literaturi se predlaže povezivanje vrednovanja usluga ekosustava s analizom životnog ciklusa (Life Cycle Analysis, LCA), društvenom analizom životnog ciklusa (Social-LCA) te analizom troškova i koristi (Cost Benefit Analysis) (Chairat i Gheewala, 2024). Takav pristup omogućuje realnije sagledavanje opravdanosti primjene NbS-a tijekom duljeg razdoblja.

4.2.3 Mehanizmi djelovanja NbS-a na zgradu

Utjecaj NbS-a na energetska ponašanje zgrade temelji se na nekoliko međusobno povezanih mehanizama. Vegetacija može zasjeniti krov, fasadu ili druge površine i tako smanjiti količinu Sunčeva zračenja koja neposredno zagrijava ovojnicu zgrade. Biljke i tlo također sudjeluju u procesu evapotranspiracije, pri kojem se dio raspoložive toplinske energije troši na isparavanje vode iz tla i biljaka. Time se može smanjiti temperatura površina i zraka u neposrednoj blizini vegetacije. Kod zelenih krovova dodatni slojevi vegetacije i supstrata istodobno utječu na prolaz topline kroz krovnu konstrukciju.

Veličina tih učinaka nije jednaka u svim slučajevima. Ovisi o vrsti i gustoći vegetacije, debljini i vlažnosti supstrata, svojstvima konstrukcije na koju je NbS ugrađen,

orijentaciji, izloženosti Sunčevu zračenju, godišnjem dobu te lokalnim klimatskim uvjetima. To je posebno važno pri tumačenju rezultata pojedinih istraživanja: vrijednosti dobivene za određenu zgradu i određene klimatske uvjete ne mogu se automatski prenijeti na svaku drugu zgradu. Primjer rasporeda mjernih postaja korištenih za praćenje mikroklimatskih uvjeta oko zgrade ŠOSO „Milan Petrović“ u Novom Sadu prikazan je na slici 9.

♣ Slika 9. Položaj mjernih postaja oko zgrade ŠOSO „Milan Petrović“ u Novom Sadu (Savić i suradnici, 2024)



Dobar primjer predstavljaju višegodišnja mjerenja provedena na javnim zgradama u Osijeku i Novom Sadu, na kojima su u sklopu projekta GReENERGY izvedeni ekstenzivni zeleni krovovi. Podaci prikupljeni sustavima monitoringa u razdoblju od 2019. do 2022. pokazali su da su temperature zraka izmjerene u blizini zelenog krova bile do 3 °C niže u odnosu na druge promatrane lokacije, dok su razlike temperature globus termometra dosezale do 16,5 °C. Tijekom analiziranih tropskih noći zabilježen je kontinuiran učinak hlađenja, s

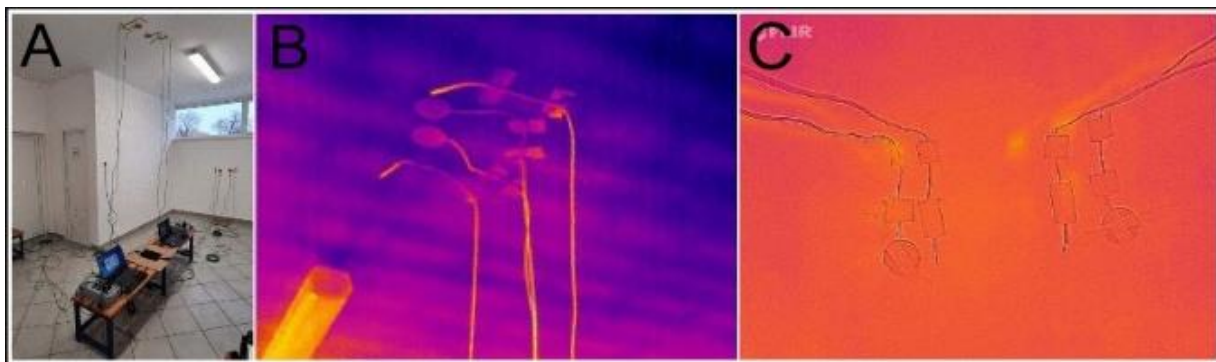
INTERCLIM

razlikom temperature globus termometra od približno 2 °C (Savić i suradnici, 2024).

Na objektu u Osijeku analiziran je i utjecaj izvedenih zahvata na toplinsku propusnost ravnog krova. Prosječna izmjerena U-vrijednost prije energetske obnove iznosila je 1,5689 W/(m²K), nakon izvedbe toplinske izolacije 0,3676 W/(m²K), a nakon izvedbe zelenog krova 0,1490 W/(m²K). U konkretnom slučaju izmjerena U-vrijednost nakon izvedbe zelenog krova bila je oko 59 % niža u odnosu na vrijednost izmjerenu nakon

prethodne izvedbe toplinske izolacije [6]. Ovaj je slijed posebno važan jer jasno pokazuje da učinak zelenog krova treba promatrati kao nadogradnju prethodno provedene energetske obnove, a ne cjelokupno poboljšanje pripisati samo zelenilu. Raspored mjernih uređaja i postupak određivanja položaja senzora toplinskog toka pri in situ mjerenju prikazani su na slici 10.

❖ Slika 10. Raspored mjernih uređaja i određivanje položaja senzora toplinskog toka pri in situ mjerenju toplinske propusnosti krovne konstrukcije (Savić i suradnici, 2024)



Sličan oprez potreban je i kod vertikalnog zelenila. Analiza postojećih istraživanja pokazuje da zeleni zidovi i fasade mogu smanjiti površinske temperature i temperaturu zraka u svojoj neposrednoj okolini, ali veličina učinka znatno ovisi o klimatskim uvjetima, godišnjem dobu, orijentaciji zida, gustoći vegetacije i načinu mjerenja (De Groeve i suradnici, 2024). Zbog toga su lokalni uvjeti i pravilno projektiranje jednako važni kao i sam odabir vrste NbS-a.

4.2.4 Od zgrade do urbane mikroklimе

Prednost NbS-a u odnosu na mjere poboljšanja energetske učinkovitosti koje se primjenjuju isključivo na zgradi je

moгуćnost djelovanja i izvan granica ovojnice zgrade. Zeleni krov ili zid prvenstveno utječu na površinu na kojoj se nalaze i njezinu neposrednu okolinu, dok stabla i druga vegetacija mogu stvarati sjenu na zgradama, pješačkim površinama i prometnicama te evapotranspiracijom dodatno pridonositi hlađenju okolnog prostora. Povezivanjem većeg broja takvih intervencija njihov se učinak može promatrati na razini ulice, bloka ili gradske četvrti. To je osobito važno u gusto izgrađenim urbanim područjima, gdje građevine i opločene površine tijekom dana akumuliraju Sunčevu energiju, a potom toplinu predaju okolini. Istraživanja toplinskog ponašanja različitih materijala za opločenje potvrđuju da vrsta

INTERCLIM

materijala, struktura površine i uvjeti okoliša utječu na njihovo zagrijavanje i hlađenje (Barišić i suradnici, 2022). Taj primjer sam po sebi nije NbS, ali pokazuje zbog čega se pri planiranju toplinski ugodnijega grada ne mogu odvojeno promatrati zgrada i površine koje je okružuju.

Zelena infrastruktura stoga omogućuje širenje pristupa energetske učinkovitosti s pojedinačne građevine na njezin urbani kontekst. Istraživanja pokazuju da stabla, vertikalno zelenilo i zeleni krovovi mogu pridonijeti ublažavanju učinka urbanog toplinskog otoka, pri čemu različiti oblici zelenila nemaju jednak učinak u svim prostornim i klimatskim uvjetima (Skandalos i Karamanis, 2025; De Groeve i suradnici, 2024).

4.2.5 Integrirani pristup energetske učinkovitosti i NbS-u

Energetski učinkovitu i klimatski otpornu zgradu stoga nije opravdano promatrati kao rezultat samo jedne mjere ili tehnologije. Toplinska zaštita ovojnice, kvalitetni prozori (ostakljenje, materijal okvira, zaštita od sunca i brtvljenje), učinkoviti sustavi grijanja, hlađenja i ventilacije te pripreme potrošne tople vode, upravljanje potrošnjom te korištenje obnovljivih izvora energije i dalje predstavljaju osnovu energetske učinkovitosti. NbS tome dodaje novu dimenziju – mogućnost da se istodobno djeluje na samu zgradu, njezinu neposrednu mikroklimu i širi urbani prostor.

Takav integrirani pristup primijenjen je i u projektu GReENERGY, gdje intervencije nisu bile ograničene samo na ozelenjavanje. Na javnim objektima u Osijeku i Novom Sadu kombinirani su zahvati energetske obnove, zeleni krovovi i zidovi te proizvodnja energije iz fotonaponskih sustava. Projektom je izvedeno ukupno 640 m² zelenih

krovova i 80 m² zelenog zida te instalirano 213 kW dodatne snage fotonaponskih sustava (Savić i suradnici, 2024). Upravo takva kombinacija pokazuje praktičnu vrijednost povezivanja konvencionalnih mjera energetske učinkovitosti, obnovljivih izvora energije i rješenja temeljenih na prirodi.

NbS se, dakle, ne treba promatrati kao alternativu postojećim tehničkim rješenjima, nego kao njihov mogući funkcionalni i prostorni nastavak. Na taj način cilj više nije samo zgrada koja troši manje energije, već zgrada koja zajedno sa svojim okolišem bolje odgovara na visoke temperature, intenzivne oborine i druge posljedice klimatskih promjena. Sljedeće poglavlje zato razmatra tehničke i okolišne zahtjeve za integraciju NbS-a u zgrade te ekonomske, društvene i klimatske aspekte njihove primjene.

4.3 Tehnički, ekonomski, društveni i klimatski aspekti primjene NbS-a

Održiva i klimatski otporna zgrada rezultat je povezanog djelovanja građevnih materijala, svojstava ovojnice, tehničkih sustava i njezina neposrednog okoliša. Zato je doprinos NbS-a potrebno promatrati zajedno s energetske učinkovitošću, okolišnim učincima i troškovima tijekom životnog vijeka. Uz tehničke pokazatelje, za donošenje odluke važni su i društvene koristi, prilagodba klimatskim promjenama te mogućnost šire primjene i dugoročnog održavanja izvedenih rješenja.

4.3.1. Doprinos građevnih materijala i energetske učinkovitih rješenja održivosti zgrada

Doprinos zgrada održivom razvoju ne određuje se samo količinom energije koju troše tijekom korištenja. Jednako je važno

INTERCLIM

razmotriti od čega su izgrađene, koliko materijala i energije zahtijeva njihova izvedba, koliko često pojedine elemente treba održavati ili zamijeniti te što se s njima događa nakon završetka životnog vijeka. Takav pristup povezuje energetska učinkovitost s učinkovitim korištenjem resursa, kružnim gospodarstvom i analizom životnog ciklusa (Life Cycle Assessment – LCA) (UNEP, 2025; Röck, Saade i Balouktsi, 2020). U kontekstu NbS-a posebno je važan jer ozelenjavanje zgrade donosi dodatne koristi, ali istodobno zahtijeva nove slojeve, konstrukcijske elemente i održavanje, koje također treba uključiti u ukupnu bilancu.

Vanjska ovojnica predstavlja prvu razinu energetske učinkovitosti. Odabir nosive konstrukcije, toplinske izolacije, ostakljenja, zaštite od Sunčeva zračenja i detalja spojeva utječe na toplinske gubitke zimi i toplinske dobitke ljeti. Pri odabiru izolacijskog materijala zato nije dovoljno usporediti samo deklariranu toplinsku vodljivost (λ , W/mK). Potrebno je razmotriti i gustoću, toplinski kapacitet, ponašanje pri promjeni vlažnosti, trajnost, požarna svojstva, izvedivost detalja te okolišne učinke proizvodnje i zamjene. Pregled nekonvencionalnih održivih izolacijskih materijala pokazuje da materijali biljnog i recikliranog podrijetla predstavljaju potencijalnu alternativu konvencionalnim proizvodima, ali njihova primjena mora počivati na provjerenim svojstvima konkretnog proizvoda (Asdrubali, D'Alessandro i Schiavoni, 2015).

Primjer takvog pristupa predstavlja istraživanje Živkovića, Novosela i Krstića (2025), u kojem je ispitana mogućnost primjene hrastove kore kao toplinskoizolacijskog sloja vanjskih montažnih zidova. Za ispitane zidne sklopove izmjerene su U-vrijednosti od 0,22 W/(m²K) sa slojem mineralne vune i

0,29 W/(m²K) sa slojem hrastove kore. Obje vrijednosti u analiziranom su slučaju bile unutar tada razmatranog zahtjeva za vanjske zidove, ali rezultati ne znače da su materijali međusobno zamjenjivi bez dodatnih provjera. Autori posebno ističu potrebu optimizacije debljine i gustoće panela, veličine čestica kore, veziva i proizvodnog postupka. U istom je istraživanju na ispitanoj zgradi izmjerena i zrakopropusnost metodom Blower Door, pri čemu je dobivena vrijednost zrakopropusnosti n_{50} od 3,75 h⁻¹. Taj se rezultat odnosi na cjelokupnu ovojnicu zgrade, a ne samo na izolacijski materijal.

Kod visoko energetske učinkovitih zgrada povećava se važnost takozvanih ugrađenih emisija, odnosno emisija povezanih s proizvodnjom građevnih proizvoda, transportom, gradnjom, zamjenama i završetkom životnog vijeka. Röck i suradnici (2020) pokazali su da se, uz smanjenje emisija tijekom korištenja, relativni udio ugrađenih emisija može znatno povećati. Stoga povećanje debljine izolacije ili ugradnja složenijeg sustava ne mora automatski predstavljati okolišno povoljnije rješenje. Za konkretnu zgradu treba usporediti dodatni utrošak materijala s očekivanim energetske uštedama tijekom predviđenog razdoblja korištenja.

Istraživanje De Masija i suradnika (2021) na primjeru zgrade gotovo nulte energije (Nearly Zero Energy Building – nZEB) potvrđuje potrebu za istodobnom energetske i okolišnom optimizacijom. Analizom različitih razina toplinske zaštite, fotonaponskih sustava i klimatskih uvjeta pokazano je da energetske najpovoljnija kombinacija nije nužno i ona s najmanjim okolišnim opterećenjem tijekom životnog ciklusa. Sličan zaključak proizlazi iz istraživanja Feehana i suradnika (2021), koji su povezali energetske simulacije zgrade i LCA pri optimizaciji fasadnih sustava i

INTERCLIM

ostakljenja. U njihovu analiziranom slučaju poboljšano ostakljenje smanjilo je operativne energetske potrebe za 8,3 %, ali povećalo ugrađene okolišne učinke za približno 10 %. Takvi rezultati upućuju na važnost zajedničkog vrednovanja energije, materijala i projektiranog životnog vijeka, a ne odabira rješenja prema samo jednom pokazatelju.

Uz projektirana svojstva materijala, presudna je i kvaliteta izvedbe. Nepravilno izvedeni spojevi, toplinski mostovi i nekontrolirana infiltracija zraka mogu umanjiti učinak i kvalitetno projektirane ovojnice. Krstić i suradnici (2014) istraživali su primjenu umjetnih neuronskih mreža za predviđanje zrakopropusnosti stambenih jedinica na temelju rezultata ispitivanja. Prediktivni modeli mogu pomoći u ranijem prepoznavanju rizičnih projektnih i izvedbenih rješenja, ali ne zamjenjuju kontrolu kvalitete i mjerenja na izvedenoj zgradi. Posebno je važno uskladiti visoku zrakonepropusnost s projektiranim sustavom ventilacije i osiguravanjem odgovarajuće kvalitete unutarnjeg zraka.

Navedeni zahtjevi čine osnovu koncepta nZEB-a, u kojem se vrlo niska potreba za energijom povezuje s učinkovitim tehničkim sustavima i obnovljivim izvorima energije. Revidirana europska Direktiva o energetskim svojstvima zgrada iz 2024. usmjerava daljnji razvoj prema zgradama s nul-tim emisijama (Zero Emission Buildings – ZEB) i sustavnijem vrednovanju potencijala globalnog zagrijavanja tijekom životnog ciklusa (Direktiva (EU) 2024/1275). U projektiranju zato treba istodobno razmatrati toplinsku zaštitu, ljetno pregrijavanje, zrakonepropusnost, ventilaciju, energetske učinkovitost sustava i ugljični otisak ugrađenih materijala.

Za javne zgrade jednako je važna faza korištenja. Pregled istraživanja Begić Juričić i Krstića (2025) pokazuje da potrošnja energije i vode u školama znatno ovisi o klimi, karakteristikama zgrade, režimu korištenja i tehničkim sustavima te da prediktivni modeli mogu poduprijeti učinkovitije upravljanje resursima. Stvarni učinak projektiranih mjera zato treba provjeravati mjerenjem i praćenjem potrošnje, uz odgovarajuću usporedbu razdoblja i uvjeta korištenja. To je posebno relevantno za školske i druge javne zgrade na kojima se istodobno provode energetska obnova i NbS intervencije.

NbS se u takav sustav uključuje kao dodatna, a ne zamjenska mjera. Zeleni krov ili fasada mogu pridonijeti zasjenjivanju, smanjenju zagrijavanja vanjskih površina i evapotranspiracijskom hlađenju, dok vegetacija uz zgradu utječe i na neposrednu mikroklimu. Njihov učinak treba promatrati zajedno sa svojstvima postojeće ovojnice i klimatskim uvjetima. Mjerenja na javnim zgradama u Osijeku i Novom Sadu pokazuju kako se učinci energetskih zahvata i zelenih krovova mogu pratiti na stvarnim objektima (Savić i suradnici, 2024). Pri projektiranju zelenih sustava dodatno treba provjeriti nosivost, zaštitu od vlage, odvodnju, održavanje i raspoloživost vode, a pri okolišnom vrednovanju uključiti materijale i opremu potrebne za njihovu izvedbu.

Na slici 11. shematski je prikazan odnos konvencionalne toplinske zaštite i zelene fasade kao dodatnog sloja djelovanja na ovojnicu i mikroklimu. Prikaz ne predstavlja izvedbeni detalj: stvarni raspored slojeva, potkonstrukcija i zaštita od vlage ovise o odabranom sustavu i projektu.

INTERCLIM

♣ Slika 11. Shematski prikaz integracije toplinske zaštite ovojnice i zelene fasade. Izrada autora prema načelima opisanima u Savić i sur., 2024; Röck i sur., 2020; Živković i sur., 2025; Direktiva (EU) 2024/1275

Integracija ovojnice zgrade i prirodnih rješenja

Shematski presjek: toplinska zaštita ostaje osnovna mjera, a zelenilo je nadopunjuje



Autorska shema; raspored slojeva ilustrativan je i nije izvedbeni detalj.

4.3.2. Troškovi i ekonomska opravdanost

Za usporedbu projektnih varijanti potrebno je unaprijed odrediti mjerljive pokazatelje. U tablici 11 prikazan je predloženi skup pokazatelja koji povezuje svojstva materijala, energetske učinkovitost, NbS učinke i životni ciklus. Takva usporedba sprječava da se rješenje proglasi održivim samo na temelju male U-vrijednosti, niskog početnog troška ili prisutnosti vegetacije.

Integrirani pristup stoga podrazumijeva optimizaciju materijala i konstrukcijskih sklopova, provjeru stvarne kvalitete izvedbe, učinkovite tehničke sustave, obnovljive izvore energije te NbS odabran prema lokalnim uvjetima. Odluku o primjeni treba temeljiti na zajedničkom vrednovanju energetskih, ekoloških i ekonomskih učinaka tijekom životnog vijeka. Time se uspostavlja poveznica sa sljedećim podpoglavljem, koje razmatra troškove i ekonomsku opravdanost NbS-a.

Jedna od glavnih prepreka široj primjeni NbS-a njihovi su početni troškovi. Oni mogu uključivati projektiranje, pripremu postojeće konstrukcije, nabavu i ugradnju sustava, vegetaciju, sustave navodnjavanja te kasnije održavanje. Razlike između pojedinih vrsta NbS-a pritom su velike. Analiza troškova urbanih NbS-a pokazuje da ne postoji jedinstvena vrijednost koja bi se mogla koristiti za procjenu njihove cijene. Panduro i suradnici (2024) navode medijalni ukupni sadašnji trošak od 56 EUR/m² za zelene površine i 201 EUR/m² za zelene krovove, pri čemu rezultat ovisi o pretpostavljenim troškovima uspostave i održavanja, životnom vijeku i diskontnoj stopi. Takve vrijednosti stoga treba promatrati kao pokazatelj reda veličine i osnovu za usporedbu različitih NbS-a, a ne kao cijenu prema kojoj bi se mogao izraditi troškovnik konkretnog projekta.

INTERCLIM

Tablica 11. Predloženi skup pokazatelja za integrirano vrednovanje energetske učinkovitosti, materijala i NbS-a. Izrada autora na temelju navedenih izvora

Područje	Pokazatelj	Svrha provjere	Izvori
Materijal i ovojnica	λ ; U; gustoća; vlaga	Toplinska svojstva i uporabljivost sklopa	(Asdrubali i sur., 2015; Živković i sur., 2025)
Kvaliteta izvedbe	nso; toplinski mostovi	Provjera stvarne kvalitete ovojnice	(Živković i sur., 2025; Krstić i sur., 2014)
Energija tijekom uporabe	kWh/(m ² ·god.); vršna opterećenja	Grijanje, hlađenje i praćenje potrošnje	(De Masi i sur., 2021; Feehan i sur., 2021; Begić Juričić i Krstić, 2025)
Ljetna ugodnost	Operativna temperatura; sati pregrijavanja	Otpornost na toplinske valove	(De Masi i sur., 2021; Feehan i sur., 2021)
NbS i mikroklima	Temperatura površine/zraka; retencija oborina	Dodatne koristi zelenih sustava	(Savić i sur., 2024)
Okolišni učinak	GWP tijekom životnog ciklusa	Ugrađene i operativne emisije	(Röck i sur., 2020; De Masi i sur., 2021; Direktiva EU, 2024/1275)
Ekonomika	LCC; zamjene; održavanje	Usporedba varijanti kroz životni vijek	(Brucker Juričić i sur., 2021; Jalilzadehazhari, 2026)

To dobro pokazuje i istraživanje provedeno za zgradu u Rijeci, u kojem su uspoređeni konvencionalni ravni krov i intenzivni zeleni krov. Za analizirani slučaj trošak izvedbe konvencionalnog krova iznosio je 88,48 EUR/m², a intenzivnog zelenog krova 160,40 EUR/m², odnosno oko 81 % više u analiziranom slučaju [20]. Ovaj rezultat nije moguće izravno prenijeti na druge zgrade jer se odnosi na konkretan projekt, intenzivni tip zelenog krova i tadašnje cijene. Ipak, dobro ilustrira problem početnog ulaganja koji često utječe na odluku investitora. Usporedni podaci o površini, troškovima izvedbe, trajanju radova i zahtjevnosti održavanja analiziranih krovnih rješenja prikazani su u tablici 12.

Trošak izgradnje pritom nije jedini trošak tijekom životnog vijeka. Zeleni krov zahtijeva održavanje vegetacije, kontrolu odvodnje, uklanjanje neželjenog raslinja, a ovisno o sustavu i navodnjavanju, gnojdbu

ili zamjenu biljaka. Intenzivni zeleni krovovi zahtijevaju složenije i češće održavanje od ekstenzivnih (Begić Juričić i Krstić, 2025). Slično vrijedi i za zelene zidove, tehnički složeniji sustavi s navodnjavanjem i zasebnim modulima u pravilu zahtijevaju veće troškove održavanja od jednostavnih zelenih fasada s penjačicama.

Zbog toga ekonomsku opravdanost NbS-a nije dovoljno procjenjivati samo na temelju početnog ulaganja. Potrebno je razmatrati troškove tijekom životnog ciklusa, ali i koristi koje nastaju tijekom korištenja. Noviji pregled ekonomskih analiza NbS-a pokazuje da se u istraživanjima često koriste različita razdoblja analize, diskontne stope i skupovi uključenih troškova, dok se troškovi na kraju životnog vijeka često potpuno izostavljaju. Zbog toga rezultati različitih ekonomskih analiza nisu uvijek izravno usporedivi (Jalilzadehazhari, 2021).

INTERCLIM

Još je složenije vrednovanje koristi. Smanjenje troška energije relativno je lako izraziti u eurima, ali kolika je financijska vrijednost smanjenja urbanog pregrijavanja, održavanja oborinske vode, povećanja bioraznolikosti ili kvalitetnijeg javnog prostora? Upravo zbog toga suvremeni pristupi predlažu kombiniranje klasične analize troškova i koristi s analizom životnog ciklusa i procjenom ekosustavnih i društvenih učinaka (Chairat i Gheewala, 2024).

Tablica 12. Usporedba izvedbe konvencionalnog ravnog i intenzivnog zelenog krova (Brucker Juricic, Krstic i Čulo, 2021)

Pokazatelj	Konvencionalni ravni krov	Intenzivni zeleni krov
Površina analiziranog krova	550 m ²	550 m ²
Trošak izvedbe	48.665,43 EUR	88.221,43 EUR
Trošak po površini	88,48 EUR/m ²	160,40 EUR/m ²
Trajanje izvedbe	18 dana	23 dana
Održavanje	jednostavnije	složenije

Za kombinirane zahvate na javnim zgradama u Osijeku i Novom Sadu u radu Savić i suradnika (2024) procijenjeno je ukupno godišnje smanjenje emisija CO₂ od 298,6 t, dok se modelirane godišnje financijske uštede povećavaju s približno 12.000 EUR za 2021. na približno 18.000 EUR za 2034. godinu. Te vrijednosti odnose se na kombinirani učinak energetske obnove, NbS-a i fotonaponskih sustava te ih nije opravdano pripisivati izolirano zelenim krovovima (Savić i suradnici, 2024).

4.3.3 Društvene koristi i kvaliteta života

Vrijednost NbS-a nije samo energetska i ekonomska. Urbana stabla, parkovi, vrtovi, zelena dvorišta i drugi pristupačni zeleni prostori stvaraju mjesta za boravak, rekreaciju i društvene kontakte. Njihovim se uređenjem može poboljšati kvaliteta prostora u kojem ljudi svakodnevno žive, rade ili se školuju. Uključivanje korisnika i lokalne zajednice u planiranje i održavanje takvih prostora može pomoći da se odabrana rješenja prilagode stvarnim potrebama i uvjetima korištenja.

Uključivanje građana nije samo dodatna aktivnost kojom se projekt predstavlja javnosti. Ono može imati izravan utjecaj na dugoročnu uspješnost NbS-a. Ako korisnici sudjeluju u određivanju potreba i načina korištenja prostora, veća je mogućnost da će izvedeno rješenje odgovarati lokalnim uvjetima i stvarnim potrebama zajednice. Suprotno tome, tehnički kvalitetno rješenje koje nema jasno definirano održavanje ili ga lokalni korisnici ne prihvate može s vremenom izgubiti svoju funkciju.

Zbog toga se u novijim istraživanjima sve više naglašavaju pitanja dostupnosti, pravednosti i uključivosti. Koristi od novih zelenih prostora ne moraju automatski biti jednako dostupne svim stanovnicima. Pri planiranju NbS-a potrebno je razmotriti tko koristi prostor, tko sudjeluje u donošenju odluka, tko snosi troškove te kako su koristi i moguća opterećenja raspoređeni između različitih skupina. Dushkova i suradnici (2026) zato kao ključne elemente uključivog NbS-a izdvajaju izgradnju kapaciteta zajednice, sudjelovanje dionika, uključivo projektiranje te pravednu raspodjelu koristi i opterećenja.

INTERCLIM

Društveni aspekt moguće je uključiti i u sustavno vrednovanje projekta. S-LCA pristup, primjerice, omogućuje razmatranje utjecaja na zaposlenost, obrazovanje i osposobljavanje, zdravlje i sigurnost te dobrobit korisnika (Chairat i Gheewala, 2024). Time se vrednovanje NbS-a proširuje izvan uobičajenog pitanja „koliko košta?“ prema pitanju „što zajednica dobiva tijekom cijelog životnog vijeka rješenja?“

4.3.4 NbS kao dio prilagodbe klimatskim promjenama

Treća važna skupina koristi odnosi se na klimatsku otpornost. Gradovi se moraju istodobno prilagođavati višim temperaturama, toplinskim valovima, sušnim razdobljima i intenzivnim oborinama. Klasična infrastruktura često je projektirana kako bi riješila pojedinačni problem: klimatizacijski sustav hladi zgradu, kanalizacijski sustav odvodi vodu, a zaštita od Sunca smanjuje Sunčeve dobitke. NbS može istodobno djelovati na više takvih izazova.

Zeleni krov, primjerice, može smanjiti zagrijavanje krovne površine i zadržati dio oborinske vode. Stablo stvara sjenu i evapotranspiracijom utječe na mikroklimu, dok njegov korijenski sustav i okolno tlo sudjeluju u zadržavanju vode. Kišni vrt prvenstveno služi upravljanju oborinskim vodama, ali istodobno povećava količinu vegetacije i bioraznolikost prostora. Upravo je multifunkcionalnost jedna od temeljnih razlika između NbS-a i mnogih konvencionalnih tehničkih rješenja.

To ipak ne znači da je NbS uvijek najbolje ili jedino rješenje. Njegova učinkovitost ovisi o lokalnoj klimi, prostoru, vrsti vegetacije, raspoloživosti vode, načinu održavanja i problemu koji se želi riješiti. Zbog toga ekonomska analiza koja uspoređuje

samo jedan učinak može podcijeniti NbS, ali jednako tako nije opravdano unaprijed postaviti da će svaka zelena intervencija biti ekonomski ili ekološki opravdana. Panduro i suradnici upravo zbog višestrukih koristi predlažu postupno vrednovanje u kojem se najprije definiraju lokalni ciljevi, a zatim uspoređuje koliko pojedina rješenja doprinose njihovom ostvarenju (Panduro i suradnici, 2024).

4.3.5 Od pilot-projekta prema široj primjeni

Jedan od najvećih izazova u sljedećem razdoblju bit će prijelaz s pojedinačnih demonstracijskih projekata na sustavnu primjenu NbS-a. Prethodno opisani tehnički, ekonomski i društveni zahtjevi pokazuju da za takav prijelaz nisu dovoljni samo raspoloživa površina i odabir vegetacije. Potrebni su jasni kriteriji odabira, modeli financiranja, definirana odgovornost za održavanje te praćenje stvarnih učinaka nakon izvedbe. To je posebno važno za postrojeći fond zgrada.

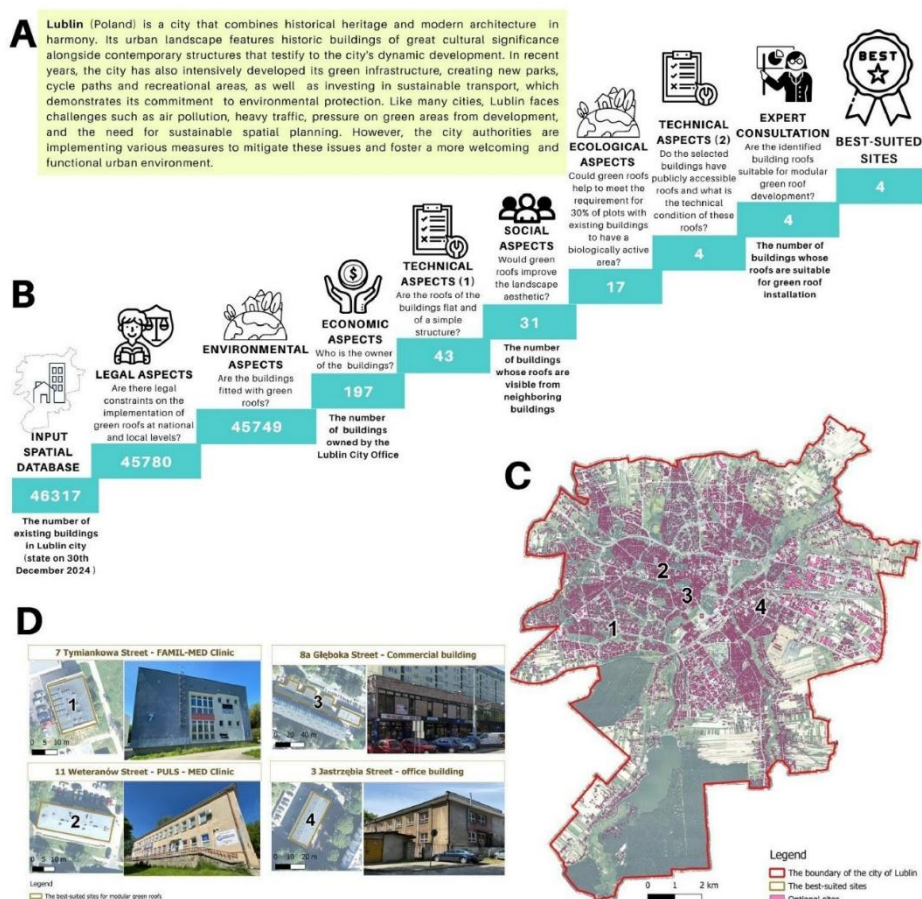
Zanimljiv primjer predstavlja istraživanje mogućnosti naknadne ugradnje modularnih zelenih krovova na postojeće zgrade u poljskom Lublinu (Wójcik-Madej i suradnici, 2026). Analiza je započela s ukupno 46.317 zgrada. Nakon primjene pravnih kriterija i izdvajanja zgrada u gradskom vlasništvu broj potencijalnih lokacija smanjen je na 197. Analizom konstrukcije i geometrije krova, površine, postojećih fotonaponskih sustava i drugih tehničkih ograničenja izdvojene su 43 zgrade. Nakon primjene ekoloških i prostornih kriterija preostalo je 17 lokacija, a nakon obilaska lokacija i konzultacija odabrane su četiri zgrade najpogodnije za izvedbu modularnih zelenih krovova (Wójcik-Madej i suradnici, 2026). Ovaj primjer pokazuje da mogućnost izvedbe

INTERCLIM

NbS-a ne ovisi samo o raspoloživoj površini krova. Potrebno je istodobno razmotriti tehničke, pravne, ekološke, ekonomske i upravljačke uvjete. Upravo je takav pristup važan ako se Nbs želi proširiti s pojedinač-

nih demonstracijskih projekata na veći broj postojećih zgrada. Postupak višekriterijskog odabira te prostorni raspored potencijalnih i konačno odabranih lokacija prikazani su na slici 12.

Slika 12. Postupak i prostorni rezultat višekriterijskog odabira lokacija pogodnih za modularne zelene krovove u Lublinu (Wójcik-Madej i suradnici, 2026).



Primjeri Osijeka, Novog Sada i Lublina pokazuju dvije povezane razine primjene NbS-a. Mjerenja na izvedenim zelenim krovovima omogućuju procjenu njihovih stvarnih energetske i mikroklimatskih učinaka, dok postupak oda-

Lublinu pokazuje kako tehničke, pravne i prostorne kriterije uključiti u planiranje budućih zahvata. Oba pristupa zahtijevaju prilagodbu lokalnim uvjetima; rješenje se ne može nekritički preslikavati s jedne zgrade ili grada na drugi.

Jednako je važan monitoring. Podaci prikupljeni nakon izvedbe omogućuju

bira lo-
kacija u

INTERCLIM

provjeru ostvaruju li se očekivane energetske, mikroklimatske, hidrološke i druge koristi. Oni također omogućuju prilagodbu načina održavanja i daju kvalitetniju podlogu za buduće investicije. Pregled ekonomskih istraživanja NbS-a pokazuje da upravo nedostatak usporedivih dugoročnih podataka o troškovima i koristima predstavlja jednu od prepreka pouzdanijem ekonomskom vrednovanju (Jalilzadehazhari, 2026). U analiziranih 319 slučajeva investicijski ili instalacijski troškovi bili su navedeni u 148 slučajeva, troškovi rada i održavanja u 169, dok su troškovi završetka životnog vijeka navedeni u samo 12 slučajeva (Jalilzadehazhari, 2026).

Šira primjena NbS-a zato zahtijeva promjenu načina na koji se promatra investicija. Umjesto odluke temeljene samo na početnom trošku, potrebno je razmatrati životni ciklus, višestruke koristi, lokalne potrebe i sposobnost dugoročnog upravljanja rješenjem. Tek tada NbS iz pojedinačnog demonstracijskog projekta može prerasti u uobičajeni element projektiranja zgrada i planiranja klimatski otpornijih gradova.

4.4 Zaključak

Klimatske promjene mijenjaju uvjete u kojima se zgrade projektiraju, koriste i obnavljaju. Povećanje energetske učinkovitosti i dalje ostaje jedan od ključnih načina smanjenja potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova, ali suvremeni pristup više se ne može ograničiti samo na smanjenje energije potrebne za grijanje. Sve izraženiji rizik od ljetnog pregrijavanja, urbani toplinski otok i intenzivne oborine zahtijevaju istodobno povećavanje energetske učinkovitosti i klimatske otpornosti zgrada i gradova.

Rješenja temeljena na prirodi u tome mogu imati važnu ulogu. Zeleni krovovi i

fasade, urbana stabla, zeleni koridori, kišni vrtovi i drugi oblici zelene i plavo-zelene infrastrukture koriste vegetaciju, tlo i vodu kako bi utjecali na mikroklimu, upravljanje oborinskim vodama i kvalitetu urbanog prostora. Njihova je posebna vrijednost u mogućnosti ostvarivanja više koristi istodobno. Međutim, njihova učinkovitost nije univerzalna, nego ovisi o vrsti rješenja, karakteristikama zgrade, lokalnoj klimi, raspoloživom prostoru i kvaliteti održavanja.

Prikazani primjeri potvrđuju da se NbS može primjenjivati i vrednovati na različitim prostornim razinama. Mjerenja u Osijeku i Novom Sadu pružaju podatke o učincima zelenih krovova u lokalnim klimatskim uvjetima, dok primjer Lublina pokazuje važnost sustavnog odabira postojećih zgrada na kojima je naknadna izvedba tehnički i upravljački izvediva. Zajedno naglašavaju potrebu povezivanja projektiranja, provjere izvedivosti i praćenja stvarnih učinaka.

NbS pritom nije zamjena za konvencionalne mjere energetske učinkovitosti. Kvalitetna toplinska ovojnica, odgovarajući izbor i količina građevnih materijala, zrakonepropusnost, učinkoviti tehnički sustavi, zaštita od pregrijavanja i korištenje obnovljivih izvora energije ostaju temelj energetske učinkovitosti i nZEB zgrade. S razvojem prema ZEB konceptu potrebno je dodatno vrednovati ugrađene i operativne emisije tijekom životnog ciklusa. Prirodna rješenja mogu nadopuniti tehničke mjere i proširiti njihov učinak na neposrednu mikroklimu, oborinske vode, bioraznolikost i kvalitetu prostora.

Za širu primjenu NbS-a bit će potrebno zajednički vrednovati energetske učinkovitost, svojstva materijala, okolišne učinke i troškove tijekom cijelog životnog vijeka, osigurati održavanje te sustavno pratiti

INTERCLIM

stvarne rezultate nakon izvedbe. Jednako je važno uključiti korisnike i lokalnu zajednicu jer dugoročno uspješno NbS rješenje nije samo tehnički sustav nego dio prostora u kojem ljudi žive.

Budući razvoj zgrada i gradova zato vjerojatno neće počivati na izboru između **tehničkih rješenja ili prirode**, nego na

njihovoj promišljenoj integraciji. Energetski učinkovita zgrada okružena kvalitetnom zelenom infrastrukturom, povezana s obnovljivim izvorima energije i prilagođena lokalnim klimatskim uvjetima predstavlja cjelovitiji odgovor na izazove klimatskih promjena od bilo koje od tih mjera primijenjene zasebno.

KORIŠTENNA LITERATURA I IZVORI

Asdrubali, F., D'Alessandro, F., Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4, 1–17.

Barišić, I., Netinger Grubeša, I., Krstić, H., Kubica, D. Field and Laboratory Assessment of Different Concrete Paving Materials Thermal Behavior. *Sustainability*, 14 (2022), 6638.

Begić Juričić, H., Krstić, H. (2025). Analyzing Patterns and Predictive Models of Energy and Water Consumption in Schools. *Sustainability*, 17, 5514. DOI:

Brucker Juricic, B., Krstic, H., Čulo, K. Theoretical Analysis and Comparison of the Thermal Performance, Construction Costs, and Maintenance Complexity between a Conventional and an Intensive Green Roof. *Journal of Engineering*, Volume 2021, Article ID 5559467.

Chairat, S., Gheewala, S. H. The conceptual quantitative assessment framework for Nature-based Solutions (NbS). *Nature-Based Solutions*, 6 (2024), 100152.

De Groeve, M., Kale, E., Godts, S. A., Orr, S. A., De Kock, T. Impact of vertical greening on urban microclimate and historic building materials: A meta-analysis. *Building and Environment*, 253 (2024), 111365.

De Masi, R. F., Gigante, A., Vanoli, G. P. (2021). Are nZEB design solutions environmental sustainable? Sensitive analysis for building envelope configurations and photovoltaic integration in different climates. *Journal of Building Engineering*, 39, 102292.

Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj>

Dushkova, D., Ivlieva, O., Vandewalle, M., Carrasco, A. R., Ponton-Cevallos, J., Sieber, I. M. Just and inclusive enough? Designing inclusive NbS to support communities in their just transition towards sustainability and resilience. *Nature-Based Solutions*, 9 (2026), 100306.

European Commission. Nature-based solutions. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation.

INTERCLIM

Feehan, A., Nagpal, H., Marvuglia, A., Gallagher, J. (2021). Adopting an integrated building energy simulation and life cycle assessment framework for the optimisation of facades and fenestration in building envelopes. *Journal of Building Engineering*, 43, 103138.

IPCC. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change – Chapter 13: Europe. Cambridge University Press, Cambridge and New York, 2022.

Jalilzadehazhari, E. The economic benefits of nature-based solutions – a literature review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 117 (2026), 129242.

Krstić, H., Koški, Ž., Ištoka Otković, I., Španić, M. (2014). Application of neural networks in predicting airtightness of residential units. *Energy and Buildings*, 84, 160–168.

Maduta, C., D'Agostino, D., Tsemekidi-Tzeiranaki, S., Castellazzi, L. From Nearly Zero-Energy Buildings (NZEBS) to Zero-Emission Buildings (ZEBs): Current status and future perspectives. *Energy and Buildings*, 328 (2025), 115133.

Malla, A., Kranzl, L., Müller, A. Passive measures for reducing space cooling demand in the EU-27: Potentials and costs. *Energy and Buildings*, 356 (2026), 117046.

Panduro, T. E., Nainggolan, D., Zandersen, M. Cost-effectiveness analysis of urban nature-based solutions: A stepwise ranking approach. *Nature-Based Solutions*, 6 (2024), 100186

Röck, M., Saade, M. R. M., Balouktsi, M., et al. (2020). Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*, 258, 114107.

Savić, S., Krstić, H., Šećerov, I., Dunjić, J. Decreasing the energy demand in public buildings using nature-based solutions: case studies from Novi Sad (Republic of Serbia) and Osijek (Republic of Croatia). *Energy, Sustainability and Society*, 14 (2024), 23.

Skandalos, N., Karamanis, D. Decarbonizing operational emissions in urban neighborhoods with the integration of rooftop photovoltaics and green infrastructure under current and future climate conditions. *Energy and Buildings*, 329 (2025), 115306.

United Nations Environment Programme (UNEP) i Global Alliance for Buildings and Construction (2025). *Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025*.

Wójcik-Madej, J., Sowińska-Świerkosz, B., Pérez Luque, G., Michalik-Śnieżek, M. Retrofitting existing buildings by the use of modular green roofs. *Building and Environment*, 287 (2026), 113900.

Živković, V., Novosel, A., Krstić, H. (2025). Innovative Solutions: Comparative Study of Laboratory and In Situ Measurements of Thermal Properties of Bark Insulated Exterior Walls. *Buildings*, 15, 810.