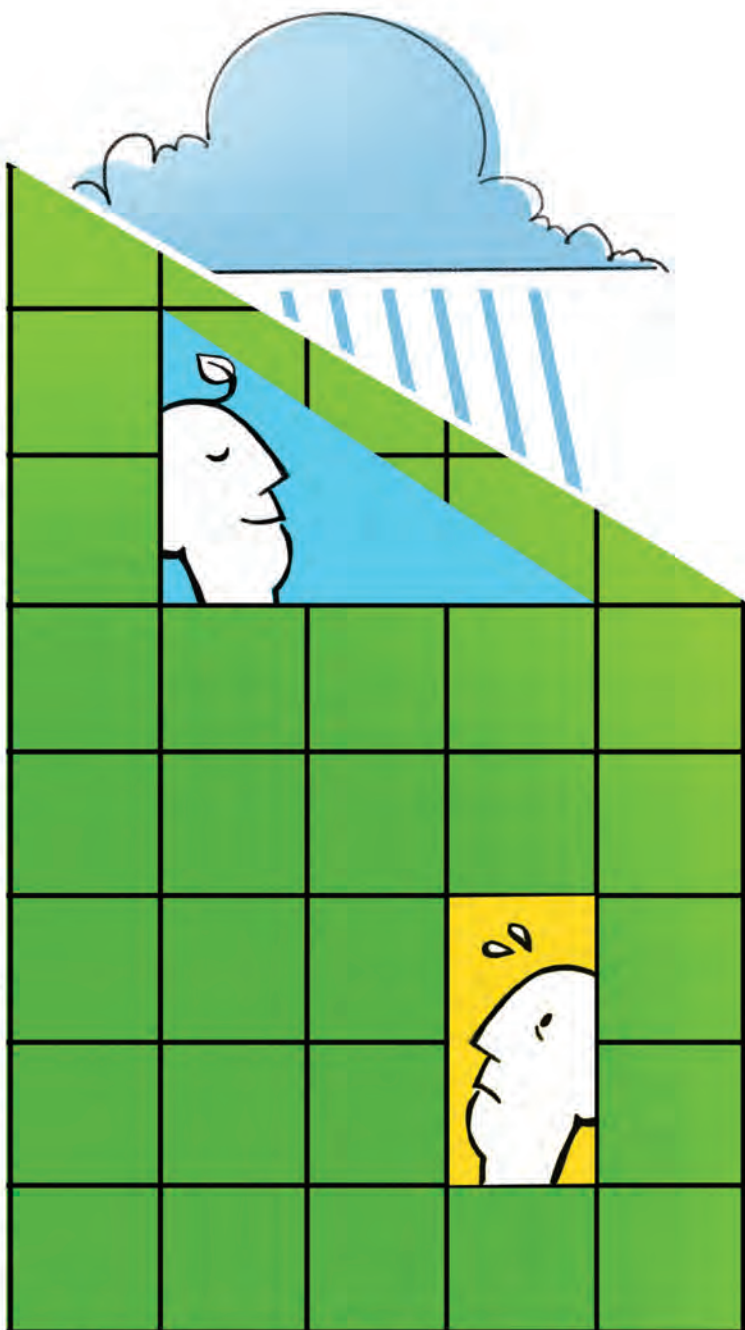


VERTIKALNE



OZELENITVE

Interdisciplinarni pogled

VERTIKALNE OZELENITVE

Interdisciplinarni pogled



ARRS
JAVNA AGENCIJA ZA RAZISKOVALNO DEJAVNOST
REPUBLIKE SLOVENIJE

VERTIKALNE OZELENITVE

Interdisciplinarni pogled

Publikacija je izdana v okviru projekta H5-8287 Urban Vertical Green 2.0: Vertical greening for living cities – co-creative innovation for the breakthrough of an old concept, ki ga je finančno podprla Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije iz državnega proračuna. Projekt je del Skupne programske pobude Urbana Evropa z naslovom SUGI – Globalna pobuda za trajnostno urbanizacijo (angl. *Sustainable Urbanisation Global Initiative / Food-Water-Energy Nexus*).

Publikacija je recenzirana.

Naslov izvirnika: Vertical Green 2.0

Založnik za angleško izdajo: Universitätsverlag der TU Berlin, Berlin, Germany
Berlin, 2021

Uredniki angleške izdaje

Karin A. Hoffmann, Sebastian Schröder, Thomas Nehls
Tehnična univerza v Berlinu (TUB), Berlin, Nemčija

Ulrike Pitha, Bernhard Pucher, Irene Zluwa

Univerza za naravne vire in življenjske vede (BOKU),
Dunaj, Avstrija

Damjana Gantar, Ina Šuklje Erjavec, Jana Kozamernik
Urbanistični inštitut Republike Slovenije, Ljubljana,
Slovenija

Uredniki slovenske izdaje

Damjana Gantar, Ina Šuklje Erjavec, Jana Kozamernik
Urbanistični inštitut Republike Slovenije, Ljubljana,
Slovenija

Založnik za slovensko izdajo: Urbanistični inštitut
Republike Slovenije, Ljubljana, Slovenija
Za založnika: Igor Bizjak, direktor

Oblikovanje naslovnice: Bibi Erjavec

Fotografije naslovnice poglavij: Damjana Gantar, Jana
Kozamernik

Prevajanje in lektoriranje: Amidas, d.o.o.

Redakcija: Damjana Gantar

Oblikovanje, prelom in tisk: Demat, d.o.o.

Naklada: 50 izvodov

Ljubljana, 2021

CIP - Kataložni zapis o publikaciji

Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

712.25:502.131.1

VERTIKALNE ozelenitve : interdisciplinarni pogled / [uredniki angleške izdaje Karin A. Hoffmann ... [et al.]; uredniki slovenske izdaje Damjana Gantar, Ina Šuklje Erjavec, Jana Kozamernik ; fotografije naslovnice poglavij Damjana Gantar ; prevajanje Amidas]. - Ljubljana : Urbanistični inštitut Republike Slovenije, 2021

Prevod dela: Vertical green 2.0

ISBN 978-961-6390-64-4

COBISS.SI-ID 110098947

PREDGOVOR

V publikaciji so predstavljeni rezultati interdisciplinarnega mednarodnega projekta Urban Vertical Green 2.0, ki je potekal na podlagi razpisa mreže Belmont Forum in Skupne programske pobude Urbana Evropa z naslovom SUGI – Globalna pobuda za trajnostno urbanizacijo (angl. *Sustainable Urbanisation Global Initiative / Food-Water-Energy Nexus*). Cilj razpisa je bil razviti rešitve, ki podpirajo trajnostno urbanizacijo. V projektu, ki se je osredotočal na proučevanje sistemov vertikalnih ozelenitev kot na naravi temelječe rešitve in sestavine mestne zelene infrastrukture, so sodelovali Tehnična univerza v Berlinu (TU Berlin), Univerza za naravne vire in življenjske vede (BOKU) na Dunaju, dunajski kompetenčni center Green4Cities (G4C), Urbanistični inštitut Republike Slovenije (UIRS) in Tajvanska državna univerza (NTU).

Cilj publikacije je bil interdisciplinarno nagovoriti deležnike, ki jih zanima uvedba sistemov vertikalnih ozelenitev. V njej so predstavljeni izsledki projekta, ki se nanašajo na trenutne poglede deležnikov, oblikovanje in vzdrževanje sistemov vertikalnih ozelenitev, potenciala z vidika povezave hrana-voda-energija ter upravljanje, načrtovanje in financiranje.

Izdaja publikacije ne bi bila mogoča brez neutrudnega in zelo konstruktivnega sodelovanja vseh projektnih partnerjev in raziskovalcev, koristnih razprav in pregledov razširjenih delovnih skupin in projektnih vodij ter številnih prispevkov naših študentov v okviru študentskih projektov, diplomskih nalog in magistrskih del.

Zahvaljujemo se mreži Belmont Forum in nacionalnim agencijam za raziskovalno dejavnost za finančno podporo projekta in univerzitetni knjižnici TU Berlin za pomoč pri objavi. Upamo, da bodo naši izsledki povečali zanimanje za naravne rešitve na splošno in konkretnije za sisteme vertikalnih ozelenitev v celotnem mozaiku večfunkcionalnih, na naravi temelječih ukrepov, ki spodbujajo prehod k bolj zelenim in za bivanje prijaznejšim mestnim prostorom.

Karin A. Hoffmann

PREDGOVOR K SLOVENSKI IZDAJI

Ob izdaji publikacije *Vertical Green* v angleškem jeziku smo se sodelavci Urbanističnega inštituta Republike Slovenije odločili tudi za prevod publikacije v slovenski jezik. Pri tem nas je vodila želja, da bi tematiko približali različnim skupinam deležnikov, tako strokovnjakom, izvajalcem, investitorjem, oblikovalcem politik in odločevalcem na ravni mest in občin kot lastnikom in uporabnikom stavb, ki že imajo ozelenjene fasade ali razmišljajo o njihovi izvedbi. V primerjavi z Dunajem in Berlinom, kjer so tradicionalno ozelenjene fasade z vzpenjalkami in sodobne žive stene precej pogostejše, je v Ljubljani in drugih slovenskih mestih vertikalnih ozelenitev manj, kot bi jih lahko bilo.

V publikaciji Vertikalne ozelenitve predstavljamo ključne informacije, ki so bile pridobljene med izvajanjem projekta Vertical Green 2.0 ter bi lahko pogosteje prispevale k odločitvam za vertikalne ozelenitve in k njihovi uspešni izvedbi, predvsem tam, kjer bi te omogočale pomembno dodano vrednost ali je zaradi goste pozidave premalo prostora za ureditev običajnih zelenih površin.

Pri slovenski različici publikacije so poleg ekipe Urbanističnega inštituta Republike Slovenije sodelovali vsi avtorji, ki so omogočili prevode svojih besedil in slik. Zahvaljujemo se vsem, ki ste med projektom z nami delili svoje izkušnje in poglede na vertikalne ozelenitve, še zlasti Mestni občini Ljubljana za sodelovanje v participativnih dejavnostih. Zahvaljujemo se Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, ki je finančno podprla projekt H5-8287 Urban Vertical Green 2.0 in omogočila izid publikacije.

Damjana Gantar

VSEBINA

1	Uvod	7
	<i>Jana Kozamernik, Karin A. Hoffmann, Irene Zluwa, Chung-Kee Yeh, Thomas Nehls</i>	
2	Zaznavanje in odnos do vertikalnih ozelenitev	31
	<i>Damjana Gantar, Jana Kozamernik, Lukas Kühle, Ina Šuklje Erjavec</i>	
3	Oblikovanje in vzdrževanje sistemov vertikalnih ozelenitev	67
	<i>Irena Zluwa, Ulrike Pitha, Bernhard Pucher, Sandra Breu, Sebastian Schröder, Chung-Kee Yeh</i>	
4	Sistemi vertikalnih ozelenitev in omrežje povezav hrana–voda–energija	123
	<i>Karin A. Hoffmann, Bernhard Pucher, Irene Zluwa, Flora Prenner, Thomas Nehls</i>	
5	Izzivi pri načrtovanju, upravljanju in financiranju vertikalnih ozelenitev v mestnem okolju	173
	<i>Jana Kozamernik, Ina Šuklje Erjavec, Simon Koblar, Damjana Gantar, Doris Schnepf, Emil Rösch, Marlies Marcher</i>	



1. del

UVOD

Jana Kozamernik^a, Karin A. Hoffmann^b, Irene Zluwa^c,
Chung-Kee Yeh^d, Thomas Nehls^b

^a Urbanistični inštitut Republike Slovenije, Ljubljana, Slovenija

^b Oddelek za ekohidrologijo in vrednotenje krajin, Inštitut za ekologijo, Tehnična univerza v Berlinu (TUB), Berlin, Nemčija

^c Inštitut za bioinženiring tal in krajinsko gradnjo, Univerza za naravne vire in življenjske vede (BOKU), Dunaj, Avstrija

^d Oddelek za bioindustrijski mehatronski inženiring, Tajvanska državna univerza, Taichung, Tajvan

1. del Uvod

1	Sistemi vertikalnih ozelenitev – opredelitev in splošni uvod <i>Karin A. Hoffmann</i>	9
2	Zgodovinski razvoj sistemov vertikalnih ozelenitev <i>Jana Kozamernik</i>	10
3	Sistemi vertikalnih ozelenitev v partnerskih mestih <i>Jana Kozamernik, Karin A. Hoffmann, Irene Zluwa, Chung-Kee Yeh</i>	13
3.1	Sistemi VO v Ljubljani	13
3.2	Sistemi VO v Berlinu	14
3.3	Sistemi VO na Dunaju	15
3.4	Sistemi VO v Tajpeju	16
4	Ekosistemske storitve ter prednosti in slabosti sistemov vertikalnih ozelenitev <i>Jana Kozamernik, Thomas Nehls</i>	17
4.1	Splošne koristi sistemov vertikalnih ozelenitev	17
4.2	Potencialne koristi vertikalnih ozelenitev na ravni stavb	21
4.3	Možni negativni učinki sistemov vertikalnih ozelenitev	23
	Viri in literatura	27

1 Sistemi vertikalnih ozelenitev – opredelitev in splošni uvod

V današnji urbanizirani družbi je ozaveščenost o kakovosti urbanega prostora, pomenu odpornosti mest proti podnebnim spremembam in zagotavljanju javnega zdravja vse bolj prisotna. Sistemi vertikalnih ozelenitev (VO) lahko kot del zelene infrastrukture, zlasti na območjih zgoščene pozidave, prispevajo k obogatitvi ekoloških koridorjev, saj omogočajo izkušnje z naravo, pozitivno vplivajo na vodni in energetski cikel v mestih, ter tako spodbujajo krožnost v mestih.

V tej publikaciji so tri vrste sistemov VO opredeljene skladno s terminologijo COST projekta Circular City Re.Solution (CA17133; Langergraber idr., 2021). Te tri vrste ozelenitev fasad skupaj imenujemo sistemi vertikalnih ozelenitev (VO). Glede na opredelitve Evropske komisije, Svetovne zveze za varstvo narave (IUCN) in projekt CA17133 (glejte informativne okvirje) spadajo sistemi VO med na naravi temelječe rešitve (NTR), ki prinašajo potencial za preoblikovanje mest v ekološkem in družbenem smislu.

Koncept gojenja rastlin na fasadah stavb ni nov. Zlasti zelene fasade z rastlinami, ki izraščajo iz tal, v središčih srednjeevropskih mest niso neobičajne in so ponekod del tradicionalne podobe mesta. Kljub temu imajo deležniki na ravni mest ali občin, vključeni v gradnjo in prostorsko načrtovanje, pogosto pomisleke glede izvedbe sistemov VO ali nimajo dovolj znanja zlasti o inovativnih sistemih.



Slika 1.1: Zelene fasade z rastlinami, ki izraščajo iz tal (levo), žive stene s sistemom uporabe sadilnih posod (sredina) in žive stene (desno) (ilustracija: Bibi Erjavec)

Knjiga je razdeljena na pet delov, v katerih so predstavljeni potenciali in ovire za izvedbo sistemov VO s štirih vidikov: Uvodnemu delu (1. del) sledi 2. del, ki je namenjen vidiku ključnih deležnikov ter obravnava njihova stališča glede trenutnih in prihodnjih potencialov za izvedbo sistemov VO. V naslednjem delu (3. del) so obravnavane oblike sistemov VO s poudarkom na namakanju in možnostih za avtomatizirano vzdrževanje z robotskimi sistemi. Temu sledi 4. del, ki sisteme VO povezuje z vodnim in energetskim ciklom in ciklom biomase v mestih ter predstavlja kvantitativne poskuse in modele, ki smo jih razvili v sklopu projekta Vertical Green 2.o. Knjigo zaključuje 5. del o vključevanju sistemov VO v obstoječe in morebitne prihodnje modele upravljanja, načrtovanja in financiranja zelene infrastrukture v mestih. Za dodatno predstavitev teme vertikalnih ozelenitev v uvodnem delu knjige predstavljamo zgodovinski razvoj sistemov VO, trenutno stanje izvajanja v obravnavanih mestih, in sicer v Berlinu, na Dunaju, v Ljubljani in Tajpeju, ter pregled ovir in koristi sistemov VO.

2 Zgodovinski razvoj sistemov vertikalnih ozelenitev

Ozelenitev fasad se je razvijala postopoma na podlagi izkušenj in znanj iz preteklosti ter ob upoštevanju razvoja gradbenih tehnik, raziskav in tehnološkega napredka. Uporaba zelenih streh in sten je bila povezana s poznavanjem izolacijskega potenciala kombinacije rastlinskega materiala in zemeljske prsti ter učinkov naravnih oziroma rastlinskih prvin na ljudi in življenjsko okolje. Za stavbe – enostavno prerasle z rastlinami – je bilo že v zgodovini znano, da v hladnih podnebnih razmerah zadržujejo toploto in v toplih podnebnih razmerah znižujejo temperaturo v ali ob stavbi. Te značilnosti so med glavnimi argumenti za njihovo uporabo. Zgodovina ozelenjevanja stavb se je verjetno začela v antičnih kulturah. Babilonski viseči vrtovi so domnevno prvi znani primer prekrivanja stavb z vegetacijo. Viseči vrtovi so bili verjetno terasasti ali strešni vrtovi na pritličnih stavbah, kjer so rastline visele čez robove terase. V opisu egipčanskega vrta iz leta 1400 pr. n. š. so omenjene tudi podporne strukture za vegetacijo kot strukturni element, ki ga prekrivajo rastline, najverjetneje vinska trta (Ogrin, 1993).

V Rimskem cesarstvu so bile ozelenjene stavbe pogoste. Različni viri navajajo, da so v Pompejih vinsko trto pogosto gojili na balkonih. Zgodovinar Plinij mlajši (23–79 pr. n. š.) je pisal o uporabi struktur za vzpenjavke in dreves za zagotavljanje sence (Peck in Callaghan, 1999). Vinska trta ni bila le kmetijska rastlina, temveč se je uporabljala tudi za prekrivanje arhitekturnih struktur in ustvarjanje ambienta na vrtu. V srednjem veku so bile pergole in druge strukture prekrive z različnimi rastlinami (pogosto z vrtnicami) in so se uporabljale za zagotavljanje sence poleti. Ljudje

so jih večinoma uporabljali v t. i. okrasnih vrtovih. V renesansi so se vertikalne strukture pojavljale predvsem v vrtovih aristokracije. Ključno oblikovno izhodišče tistega časa je bilo povezati hišo in vrt. Obstajajo zgodovinski primeri ureditev, kot je stavba Villa Quaracchi z vrtom, razdeljenim s pergolo. V tistem času so ljudje ob fasadah ali stenah na sončni strani začeli gojiti sadno drevje in uporabljati termofilne eksotične rastline (Ottel, 2011). V francoski vrtni umetnosti v 17. in 18. stoletju se je razširil arhitekturni pristop gojenja špalirnih dreves in palisad ter parterjev z velikimi zelenimi pergolami, ki so zagotavljale senco med sprehodom po obsežnih vrtovih. V nekaterih primerih so bile tehnično zahtevne konstrukcije iz litega železa neokrašene, da so ljudje lahko občudovali takratne gradbene tehnike in materiale. V tem obdobju so se že uporabljale vzpenjavke, prinesene iz Amerike, ki so razširjene in se v urejanju vrtov uporabljajo še danes (Ottel idr., 2011).

Nove vrtnarske tehnike in novi postopki gojenja, ki so omogočali rast rastlin brez matične podlage, tj. v sadilnih koritih in posodah, so prinesli nove možnosti vertikalnih ozelenitev. Napredek pri gradbenih tehnikah in materialih v 19. stoletju, zlasti izum armiranega betona, je omogočil nove možnosti načrtovanja (Giedion, 2008). Arhitekt Hector Horeau je na primer na pariških bulvarjih uvedel postavitev sadilnih korit, napolnjenih z zemljo in rastlinami, kar je zgodnji primer sistema z zbiranjem in distribucijo deževnice za vzdrževanje rastlin (Lambertini, 2007). Na začetku 20. stoletja so za zelene fasade vse pogostejše uporabljali vzpenjavke, zlasti v nemško govorečih državah. Ta trend je verjetno izviral iz sloga art nouveau in takratnih gibanj *Garden City* (vrtno mesto) in *Arts and Crafts* (umetnost in obrt) (Dunnett in Kingsbury, 2010). V modernizmu je več arhitektov, med drugimi Le Corbusier in Frank Lloyd Wright, v oblikovanje stavbe vključilo vegetacijo, večinoma v obliki zasaditve na strehah in terasah. Arhitekt Geoffrey Bawa, ki je deloval v tropskih podnebjih, je poskušal arhitekturo združiti s krajino tudi z uporabo zelenih streh in fasad. Po drugi strani so modernistični oblikovalci dajali prednost pergolam brez rastlin.

Pionir zelenega modernizma Stanley Hart White velja za enega od pionirjev vertikalnih vrtov. Leta 1938 je ustvaril prototip zelene stene, ki so jo sestavljale posode za rastline iz žičnih košar, napolnjene s substratom. Svoj element žive stene je imenoval »arhitekturna struktura in sistem z vegetacijo« (angl. *Vegetation-Bearing Architectonic Structure and System*), ki opredeljuje ključne značilnosti zelenih sten – kombinacijo rastlinskega materiala in nosilne konstrukcije (Hindle, 2013). Brazilski umetnik in krajinski arhitekt Roberto Burle Marx velja za enega od pionirjev sodobne zasnove vertikalnih vrtov in za pobudnika sodobnih praks. Njegova zasnova je temeljila na uporabi rastlin, neodvisnih od tal. V tesnem sodelovanju z arhitekti in na podlagi zanimanja za rastline je razvil nove tehnike, ki jih je pogosto

uporabil v okolju z malo ali brez dostopa do tal. Z uporabo vzpenjavk in zasaditev v sadilnih posodah ob stenah stavb, ki obrobajo trg v Sao Paulu, je vegetacijo vključil v primarni arhitekturni kontekst (Adams, 1991). V okoljskih gibanjih v šestdesetih letih 20. stoletja je obstajala težnja po vključevanju načel trajnostnega oblikovanja v arhitekturno načrtovanje. V Nemčiji so se razvijali programi spodbud za zelena mesta (v osemdesetih letih 20. stoletja), med najbolj znanimi je bil projekt, izveden na ulici Paul-Linke-Ufer v berlinski stanovanjski soseski v okrožju Kreuzberg, kjer so bile fasade ozelenjene z vzpenjavkami (Ottelé, 2011).

V sodobni arhitekturi je uporaba vertikalne ozelenitve del arhitekturnega jezika. Tako je bil na primer nizozemski paviljon na razstavi EXPO v Hannovru (2000) s šestimi nadstropji predstavljenih krajin zasnovan kot predstavitev trajnostnega razvoja. Paviljon, ki ga je zasnovalo podjetje MVRDV, se ukvarja z vprašanji gostote prebivalstva in vloge narave ter predstavlja »novo naravo« kot mešanico tehnologije in narave (MVRDV, 2000). Paviljon je žal kazal trajnost samo kratek čas, saj je danes zapuščen in se načrtuje njegova prenova.

V okviru širšega koncepta ozelenitve stavb se je v zadnjih desetletjih uporaba zelenih streh razširila. Praksa vertikalnih ozelenitev se trenutno razvija v Evropi in po svetu, zlasti v državah s toplejšimi podnebji. Za uporabo rastlin so se razvile različne tehnike. Uporaba vzpenjavk ni več najbolj ključna, saj sodobni sistemi omogočajo rast rastlin iz  epov ali plasti v steni oziroma njihovo izra  anje iz plastičnih kompozitnih modulov. Pri teh živih stenah je bistvenega pomena ustrezna oskrba rastlin z vodo in hranili, zato se je začel uporabljati tudi hidroponski sistem. Take sodobne ozelenitve stavb so postale »trend«, za njihov sloves pa je zaslužen predvsem oblikovalec vertikalnih vrtov Patrick Blanc, znan kot »izumitelj vertikalnega vrta«. Sekaran (2015) navaja pomembne prelomnice v sodobnem razvoju drugačnega tipa vertikalnih ozelenitev, k uporabi vzpenjavk je pomembno prispevala tudi uvedba kabelskih sistemov iz nerjavnega jekla, sistemov mreže iz jeklenic ter modularnih panelnih špalirnih sistemov v zgodnjih devetdesetih letih 20. stoletja in prva večja uporaba panelnega  palirnega sistema, nameščenega v Kaliforniji ter v parku MFO Park v Z urichu z večnivojsko strukturo, ki je bil odpr  leta 2002. Od leta 2005 so zelene stene postale priljubljene po vsem svetu, zlasti v jugovzhodni Aziji, še zlasti v Singapurju.

3 Sistemi vertikalnih ozelenitev v partnerskih mestih

3.1 Sistemi vertikalnih ozelenitev v Ljubljani

Ljubljana, glavno mesto Slovenije, je razmeroma majhno mesto s približno 300.000 prebivalci, ki na splošno velja za zeleno mesto. V okviru projekta Vertical Green 2.0 smo raziskali prisotnost vertikalnih ozelenitev v Ljubljani na fasadah stavb in drugih grajenih strukturah. Ugotovitve kažejo, da se vertikalne ozelenitve na stavbah v večini primerov uporabljajo na stenah, obrnjenih proti prometnim površinam, zlasti ob pločnikih za pešce. Vertikalne ozelenitve na (notranjih) dvoriščih in vrtovih so prisotne v manjši meri.

Glede vrste sistemov VO v Ljubljani prevladujejo zelene fasade z rastlinami, ki izraščajo iz tal, in sicer smo jih opazili v 98 % popisanih primerov. Žive stene in žive stene s sistemom uporabe sadilnih posod so v manjšini tako z vidika številčnosti kot po deležu ozelenjenih vertikalnih površin. Večinoma se uporabljajo kot protihrupne pregrade in predelne stene. Vertikalne ozelenitve najdemo na 1 % stavbnega fonda na urbanem območju Ljubljane. Ozelenjene stavbe so večinoma enodružinske hiše (40 %), sledijo stanovanjski bloki, garaže, kmetijske stavbe ter v manjši meri poslovne in upravne stavbe, hoteli in stavbe za storitvene dejavnosti. Izmed vseh popisanih ozelenjenih objektov je delež ozelenjenih stavb 56 %, druge grajene strukture pa zajemajo 44 %.



Slika 1.2: Tradicionalna ozelenitev meščanske vile ter pročelja javne stavbe v Ljubljani (Fakulteta za arhitekturo), uporaba sistema žive stene s sadilnimi koriti ob fasadi (Zlata ladjica) (fotografije: arhiv Urbanističnega inštituta RS)

3.2 Sistemi vertikalnih ozelenitev v Berlinu

V Nemčiji je v zadnjih letih mogoče opaziti vse večje zanimanje za ozelenitev stavb, vendar pa se programi financiranja prednostno osredotočajo na ozelenitev streh (Kühle, 2020). Prevladujoča vrsta sistemov VO v Berlinu so zelene fasade z rastlinami, ki izraščajo iz tal, pri tem se najpogosteje uporablja navadna divja trta (*Parthenocissus quinquefolia*), ki jo je mogoče najti na številnih stanovanjskih stavbah. V evidenci sistemov VO na mestni ravni je med letoma 1985 in 2018 mogoče opaziti upad števila sistemov VO ter ozelenitve fasad. Od 550 sistemov VO v letu 1985 jih je leta 2018 obstajalo samo še 426, obseg z vegetacijo obraščanih fasadnih površin pa se je zmanjšal za skoraj 50 %. Koehler navaja, da je ta upad posledica starosti rastlin ter spremenjenih stališč lastnikov glede ozelenitev fasad in obnovitvenih del na fasadah (Koehler, 2019).

V zadnjem desetletju so bile tako v Nemčiji uvedene različne spodbude za izvedbo ozelenitve stavb. V Berlinu se je na primer začel izvajati program financiranja *GründachPLUS* (ZelenastrehaPLUS, op. p.), ki zagotavlja do 75 % neposrednega subvencioniranja izvedbe. V drugih nemških mestih (München, Köln, Frankfurt, Stuttgart, Düsseldorf in Essen) so pristojni organi začeli izvajati programe z integrativnim financiranjem za podporo ozelenitev streh, dvorišč in fasad. Mesto Leipzig se je s programom *Kletterfix - Grüne Wände für Leipzig* posebej usmerilo v ukrepe ozelenitev fasad (BuGG, 2019). Druga mesta, na primer Hamburg, so prilagodila prejšnje programe ozelenitev streh tako, da vključujejo tudi podporo za ozelenitev fasad (Heidmann idr., 2020).



Slika 1.3: Zelene fasade v Berlinu (fotografije: Bjoern Kluge in Karin A. Hoffmann)

Po podatkih nemškega združenja za ozelenitev stavb BuGG (2019) je v zadnjem desetletju vse večje število nemških mest izvedlo programe neposrednega subvencioniranja ter poskrbelo za pravno opredelitev ozelenitve streh in fasad. Vendar pa je ozelenitev fasad v primerjavi z ozelenitvijo streh pri odločevalcih še vedno razmeroma nizko na prednostnem seznamu. V pravnem okviru nemški zakon o gradnji objektov (BauGB) ozelenitev fasad ureja kot posamični primer ali kot izravnalni ukrep, v obeh primerih pa je izvedba lahko zavezujoča. Sporazumi o ozelenitvah stavb so načeloma lahko vključeni v pogodbe o urbanističnem načrtovanju (Kühle, 2020). Na Inštitutu za kmetijske in urbane ekološke projekte (IASP, 2018) so izdelali seznam značilnosti ozelenitev fasad in streh ter jih ocenili, da bi oblikovali posodobljen faktor površine biotopa (glejte 5. del; BAF; Land Berlin, 2021) Ugotovili so, da so učinki ozelenitev fasad na zdravje, kakovost zraka in mikroklimo podobni ali celo bolj pozitivni kot učinki ozelenitev streh (IASP, 2018). Vendar poleg teh ugotovljenih koristi še vedno obstajajo tudi predsodki. Gradbena podjetja in vlagatelji v praksi pogosto zavračajo koncepte, ki obravnavajo ozelenitev fasad (Kühle, 2020).

3.3 Sistemi vertikalnih ozelenitev na Dunaju

Dunaj ima dolgo tradicijo vertikalnih ozelenitev. Notranja dvorišča so bila pogosto zaraščena z vinsko trto ali vzpenjalkami, ki ne potrebujejo opore, kot sta vinika ali divja trta (*Parthenocissus sp.*) in bršljan (*Hedera sp.*). Baročni vrtovi ob palači Schönbrunn so obdani z arkadami, obraslimi z vzpenjalkami in visokimi formalno obrezanimi živimi mejami. Pri oblikovanju fasad so bile na zunanji strani vil iz 19. stoletja pogosto zasnovane opore za rastline. V sedemdesetih letih 20. stoletja je umetnik Friedensreich Hundertwasser trdil, da je treba niše v fasadah hiš urediti



Slika 1.4: Hundertwasserhaus, sistem VO na območju Biotope City, navadna vinika (*Parthenocissus quinquefolia*) na stavbah Amerlingbeisl in NA48 (fotografije: Irene Zluwa)

kot habitate za drevesa (manifest za »drevesne prebivalce«). Hkrati je arhitekt Harry Glück predstavil nenavaden primer za vključitev vertikalnih ozelenitev v socialna stanovanja: za vsako stanovanje do 13. nadstropja se zgradijo terase z velikimi sadilnimi posodami, od 15. do 27. nadstropja pa se za prebivalce zagotovijo lože (Fassbinder, 2014; Nextroom, 2021). Leta 2002 je skupaj s Helgo Fassbinder začel izvajati projekt Biotope City – projekt delno socialnih stanovanj z 2.200 m² vertikalnih ozelenitev in balkoni za večino stanovanj (IBA-Wien, 2021).

Mesto Dunaj začenja izvajati projekte usmerjene v ozelenitev stavbnega fonda. Trenutni cilj mesta je izvesti vertikalne ozelenitve na desetih fasadah letno. Največja živa stena s sistemom uporabe sadilnih posod na Dunaju je bila zgrajena leta 2009 na stavbi MA48 med njeno energetske sanacije. Poleg tega mesto Dunaj ponuja svetovanje in financiranje, da bi spodbudilo izvedbo vertikalnih ozelenitev (MA22, 2019; Presse Service der Stadt Wien, 2020; MA19, 2021; glejte 5. del).

3.4 Sistemi vertikalnih ozelenitev v Tajpeju

V mestu Tajpej živi približno 2,55 milijona prebivalcev, gostota prebivalstva v tem mestu pa je največja v Tajvanu. Povprečna zelena površina na prebivalca v Tajpeju je približno 5,9 m², kar je precej manj od 9 m², kot priporoča Svetovna zdravstvena organizacija. Ob koncu drugega četrletja leta 2019 je bilo v Tajpeju 896.000 stanovanjskih objektov (Mestna uprava Tajpeja, 2019). Sistemi vertikalnih ozelenitev bi lahko v prihodnosti potencialno povečali prisotnost zelenih prvin, zlasti na gosto naseljenih območjih. Izstopajoče primere sistemov VO v Tajpeju je mogoče najti na ozelenjeni steni na trgu v kletni etaži stavbe 101 (Poly Vigor Inc., 2018), na velikih dvoslojnih zelenih stenah v primeru Guan De Xingya, stavbi Innisfree v soseski



Slika 1.5: Dandy Hotel, gradbišče v kampusu univerze NTU, gradbišče v središču Tajpeja in 3D-slika rastline, ki je uporabljena kot zelena stena (fotografije: Chung-Kee Yeh)

Ximending, na ulici Caifu Xinhai Road in na srednji šoli Yongping Senior High School.

Poleg tega so številne zelene stene pogosto izvedene na ograjah gradbišč v Tajvanu. Skladno s predpisom »Načrt za zmanjšanje oviranja prometa in izboljšanje javne varnosti med gradnjo nepremičnin v Tajpeju« morajo biti varnostne ograje zasnovane in načrtovane tako, da vključujejo elemente, kot so slike, platna, postavitve zelenih rastlin itd. (Mestna uprava Tajpeja, 2009). Na mnogih lokacijah v Tajpeju so uporabljeni tipski sistemi VO na ograjah gradbišč: npr. gradnja večstanovanjske stavbe izvajalca Yuanlih Group, stavba Huagu Fuli Building, gradnja poslovne stavbe Xinyi A7, stanovanjsko-poslovna stavba v okrožju Neihsu, prenova stanovanjske stavbe izvajalca Yiyang Construction Co., na kateri so uporabljene avtohtone vrste v Tajvanu, in novogradnje izvajalca Sunty Development Co. – oblikovanje ozelenitve ograje s totemom. Na ozelenjenih ograjah se zelo pogosto uporabljajo kmetijske rastline. Ko izvajalec odstrani ograjo, je pridelek mogoče pobrati. Zato so bila pri projektu WP5-NTU razvita orodja, ki podpirajo to zamisel (glejte 3. del).

4 Ekosistemske storitve ter prednosti in slabosti sistemov vertikalnih ozelenitev

Sistemi VO kot biotehnične funkcionalne enote lahko zagotavljajo posredne koristi na ravni mesta in ravni stavb. Storitve, ki jih zagotavljajo sistemi VO, je mogoče skladno z Oceno ekosistemov v novem tisočletju (Millenium Ecosystem Assessment, 2005) opisati kot ekosistemske storitve (ES). Pri ES razlikujemo med storitvami zagotavljanja, storitvami regulacije, storitvami podpore in kulturnimi storitvami (nematerialne koristi), ki so opisane v nadaljevanju.

4.1 Splošne koristi sistemov vertikalnih ozelenitev

Fasade, ki so vizualno prisotne v urbanem javnem prostoru - tako ozelenjene ali neozelenjene, vplivajo na okoliški prostor. Poleg estetskega vidika sistemov VO v okviru ekosistemskih storitev obravnavamo tudi storitve regulacije v zvezi z energetsko bilanco in mikroklimo, upravljanjem deževnice ter zmanjševanjem onesnaževanja zraka in hrupa. Ozelenjene stavbe omogočajo proizvodnjo biomase za hrano, biomaterial in proizvodnjo energije, izboljšujejo biotsko raznovrstnost ter zagotavljajo hrano in habitate za različne živali.

Mikroklimatski učinki sistemov VO, zmanjšanje mestnih toplotnih otokov

Podnebne spremembe vplivajo na povečanje pogostosti in dolžine vročinskih valov ter višanje temperatur v mestih. Skupaj z učinkom mestnega toplotnega otoka to vodi v večjo toplotno obremenitev ljudi v mestih (Buchin idr., 2016). Ljudje v sodobnem življenju več časa preživijo v notranjih prostorih kot na prostem. Tako na primer v Nemčiji ljudje 15,7 ure dnevno preživijo v notranjih prostorih (Brasche in Bischof, 2005). To pomeni, da je treba toplotno obremenitev uravnavati tudi v notranjosti stavb, ne le zunaj. To dejstvo pogosto ni upoštevano pri odkrivanju mestnih toplotnih otokov, saj se satelitsko zaznavanje površinskih temperatur navadno izvaja podnevi – kar je napačno in nezadostno. Napačno je, ker prikazuje samo temperaturo površin, ne pa temperature zraka. Razmerje med površinsko temperaturo in temperaturo zraka je – če sploh – ustrezno primerjati le v nočnem času. Zaradi tega razloga se površinske temperature lahko uporabljajo samo za opisovanje mestnih toplotnih otokov ponoči (kar pa ne velja za vodna telesa). Ker se satelitska opazovanja osredotočajo na horizontalne slike mest, strategije za prilagajanje podnebnim spremembam za urbana območja predlagajo vzpostavitev večjega števila zelenih površin, kot so zelene strehe, parki itd. Vendar pa višje temperature zraka v grajenih območjih mest ponoči povzročajo predvsem večje vertikalne površine (stene stavb, izpostavljene sončnemu sevanju). Stene stavb podnevi absorbirajo sončno sevanje in ga pretvorijo v zaznavno toploto, kar povzroči višjo temperaturo zraka.

Sistemi VO so ena od možnih sistemskih rešitev te težave, saj prekrijejo površine stavbe, absorbirajo sončno sevanje in s transpiracijskim hlajenjem ohranjajo površine stavbe hladne. Za sisteme VO se je dokazalo, da imajo potencial za ohlajanje notranjih prostorov stavbe in površin stavbe (Hoelscher idr., 2016). Glede učinkov sistemov VO na javne površine so znanstveni rezultati nejasni. Jänicke in sodelavci (2015) so ugotovili, da ozelenitev fasade le malo zmanjša toplotno obremenitev pešcev pred ozelenjeno steno. Znižanje površinske temperature posameznih stavb ne pomeni nujno, da sistemi VO zaznavno vplivajo na učinek mestnega toplotnega otoka. Pravzaprav je bilo to redko ali pa sploh ni bilo izmerjeno. Hoelscher in sodelavci (2016) na primer niso odkrili zaznavnega učinka sistemov VO na temperaturo zraka na razdalji 30 cm pred ozelenitvijo, ki je bila do 17 °C hladnejša od stene brez ozelenitve. Z vidika energetske bilance vsak sistem VO z zadostnim namakanjem pretvori sončno energijo v latentno toploto in tako zmanjša pretvorbo iz sončnega sevanja v zaznavno toploto, zato je v simulacijskih študijah in konceptualnih razpravah vedno ugotovljeno, da sistemi VO zmanjšujejo učinek mestnega toplotnega

otoka (Pfoser, 2016). Če bi bilo več površin stavb ozelenjenih, bi to imelo večji učinek na temperature zraka v uličnem koridorju. Glavno vprašanje ostaja, kakšen je delež površin stavb, ki jih je dejansko mogoče ozeleniti (okna, spomeniško varstvo itd.), in ali bi te izvedene ozelenitve povzročile zaznavne učinke za javne površine (za več informacij glejte 4. del).

Upravljanje deževnice

Namakanje je ključni dejavnik za uspešno vzdrževanje sistemov VO. Pri namakanju ima uporaba deževnice namesto vode iz vodovoda velik potencial za zmanjševanje odtekanja in povečevanje evapotranspiracije. Pearlmutter in sodelavci (2021) so ugotovili, da bi možnost odtekanja deževnice s streh v šestih evropskih in bližnjevzhodnih mestih omejila izvedbo sistemov VO. Siva voda je bila obravnavana kot dragocen vir za namakanje v sušnih obdobjih. Tako lahko sistemi VO prispevajo k ponovni uporabi odpadne vode. Živa stena s površino 850 m² na Dunaju v primerjavi z mestnimi drevesi lahko doseže podobne stopnje porabe vode kot pet dreves (Kühle, 2020). Kar zadeva zadrževanje deževnice, lahko več sistemov VO shranjuje deževnico in tako prispeva k omilitvi problema presežkov meteornih voda (Tiwary idr., 2018). Poleg tega se lahko sistemi VO uporabljajo kot NTR za praznjenje zbiralnikov za zadrževanje meteorne vode do naslednjega poplavnega dogodka.

Zmanjšanje onesnaževanja zraka

Raziskave o potencialu sistemov VO za zmanjšanje onesnaževanja zraka v mestih so pokazale, da lahko sistemi VO na površinah listov rastlin imobilizirajo trdne delce (Ottelé, 2011), vegetacija pa lahko absorbira in preoblikuje plinasta onesnaževala (Dettmar idr., 2016). Vendar to ne pomeni, da se koncentracije onesnaževal zraka na javnih površinah zmanjšajo v zaznavni in pomembni meri. Zavajajoče je govoriti o potencialih,  e nimamo ustreznih podatkov o razsežnosti vertikalnih ozelenitev, ki jo je mogoče doseči (Perini Roccotiello, 2018). Bolj obetavno je prizadevati si zmanjšati emisije onesnaževal zraka pri viru, namesto da bi se zanašali na to, da bodo sistemi VO učinkovito imobilizirali enako količino delcev. Zanimivo je, da poleg tega, da imajo sistemi VO alergeni potencial, oddajajo tudi hlapne organske spojine, ki se (ali se lahko) pretvorijo v onesnaževala zraka, kot je ozon. Churkina in sodelavci (2017) so dokazali, da je to še zlasti pomembno v vročinskih valovih. Pri sistemih VO bi se ta neželeni  inek lahko razvil v uličnem koridorju in pred okni.

Zmanjšanje hrupa in zmanjšano širjenje hrupa

Hrup slišimo, če med virom in sprejemnikom ni ovir ali če se hrup odbija in širi iz vira do sprejemnika. Zmanjšanje hrupa z vidika sprejemnika je torej mogoče doseči, če se hrup zaduši ali popolnoma absorbira, če je med virom in sprejemnikom ovira ali če se hrup ne odbija, ampak absorbira. Zmanjšanje hrupa je odvisno od materiala med virom in sprejemnikom. Sistemi VO lahko zmanjšajo jakost zvoka, še zlasti v nižjih frekvencah, predvsem zaradi dušenja zvoka v plasti substrata (Wong idr., 2010). Poleg tega plast vegetacije v manjši količini prispeva k zvočni izolaciji z razpršitvijo zvoka v višjih frekvencah. Akustični učinek sistemov VO je zagotovljen glede na debelino in sestavo substrata in vegetacije ter z izvedbo nosilne konstrukcije in povezav med moduli (Pérez idr., 2016). Vendar pa zaradi stroškov izvedbe in vzdrževanja akustika ne sme biti glavni dejavnik pri izvedbi sistemov VO (Wong idr., 2010). Prisotnost ozelenitev na javnih površinah na splošno zmanjšuje zaznavanje hrupa – pravzaprav se razlikuje zaznavanje enako hrupnega prostora z ozelenitvijo ali brez nje, saj bolj zelena okolja dojemamo kot manj hrupna (intermodalno zaznavanje vizualnih in slušnih dražljajev).

Biotska raznovrstnost v mestih

Izvedba sistemov VO na območju, ki je bilo prej brez vegetacije, povečuje številčnost rastlin in potencialno tudi živali, in tako obogati sestavo vrst (biotsko raznovrstnost) na določenem območju. Seveda je učinek na biotsko raznovrstnost močno odvisen od lokacije izvedbe sistemov VO (območje z velikim ali majhnim številom vrst) in njihove zasnove, zlasti v zvezi z morebitnimi habitatami, rastlinsko sestavo in vzdrževanjem. Zelene fasade se lahko uporabijo tudi kot povezovalni element med habitatami, ki omogoča prehod organizmov v urbanem okolju. To je še zlasti pomembno na gosto pozidanih območjih s pomanjkanjem zelenih površin.

Zagotavljanje zelenih površin

Stavbe v mestu so del javnega prostora. Stavbe z ozelenjenimi fasadami, ki so obrnjene proti javnemu prostoru, prebivalcem mesta omogočajo stik z naravo. Ker rastline sezonsko spreminjajo videz, so sistemi VO vizualno zelo prisoten element v urbanem prostoru. Poleg cvetenja pri nekaterih rastlinah v različnih letnih časih prihaja tudi do sprememb teksture in barve, na primer pri divji trti (*Parthenocissus tricuspidata*), kateri jeseni pordeči listje. Tako vertikalne ozelenitve vplivajo na zaznavanje stavb in okoliškega javnega prostora. Njihov estetski potencial je odvisen od tega, na kakšen način se naravne prvine vključi v zasnovo arhitekturne rešitve stavbe.

Identiteta, simbolna vloga

Ozelenjena stavba lahko postane element identitete ali celo simbol določenega dela mesta, kot na primer »tisti muzej v Parizu, ki ga je ozelenil Patrick Blanc«. Ozelenjena stavba lahko pomaga oblikovati podobo mestne četrti, zlasti če je ozelenitev fasade izvedena v širšem obsegu (četrť Vauban v Freiburgu v Nemčiji). Uporaba ozelenitev na fasadah stavb, ki so vizualno izpostavljene javnemu prostoru, poveča njihovo edinstvenost (Bosco Verticale v Milanu v Italiji) oziroma izkazuje »zeleno razmišljanje« (ali tudi zeleno oglaševanje). Predstavlja tudi simbol združitve narave in umetnih ali grajenih struktur, ki jih je izdelal človek. To lahko v urbanih okoljih poveča ozaveščenost o pomembnosti naravnih prvin. Hkrati je ozelenjevanje stavb lahko povod za filozofsko razpravo o teh dveh entitetah in o tem, kateri od njih dajemo prednost.

4.2 Potencialne koristi vertikalnih ozelenitev na ravni stavb

Učinki ozelenitev fasad na stavbe so bili raziskani v različnih študijah. Ozelenitev fasade lahko izboljša uravnavanje temperature stavbe, osvetlitev, prezračevanje, vpliva na porabo električne energije in upravljanje vode ter lahko pozitivno vpliva na materiale fasade.

Energetska učinkovitost stavb in poraba energije

Potencial za zmanjšanje zahtev stavbe po ogrevanju in hlajenju z izvedbo sistemov VO je odvisen od različnih dejavnikov, kot so podnebje, prostornina stavbe in vrsta ovoja ter rastlinski pokrov. Raziskave so dokazale učinek adiabatnega hlajenja poleti zaradi izvedbe ozelenitve fasade (Schmidt, 2009), Hoelscher in sodelavci (2018) pa so celo opredelili prednosti hlajenja stavb z ozelenitvijo fasad v primerjavi z drugo urbano zeleno infrastrukturo, pri čemer je upošteval, da ozelenitev prekriva velik del fasad stavb in da je zagotovljeno zadostno namakanje. Kar zadeva energetska učinkovitost stavb, lahko vertikalne ozelenitve v Srednji Evropi zmanjšajo porabo primarne energije za hlajenje poleti – to je zlasti pomembno pri neustrezno izoliranih stavbah. Ottelé (2011) navaja, da izolacijski učinek zelenih fasad predstavlja približno 1–2 % sodobne izolacije sten, kar je podobno zmogljivosti tehničnih senčil (K hle, 2020). Učinki na stavbe pozimi so povezani s specifičnim podnebjem in uporabo sistemov VO. Kljub temu standardi glede energetske učinkovitosti v Srednji Evropi določajo nujne izolacijske karakteristike zunanje stene, sistemi VO pa so samo dodatni element, ki lahko pozimi ustvari zaščito pred vetrom oziroma ohlajanjem.

Svetloba in prezračevanje

Odvisno od sistema in izbire rastlin lahko sistemi VO poleti s senčenjem zagotavljajo zaščito pred bleščanjem in močno sončno svetlobo in tako nadomeščajo nekatere vrste tehničnih sistemov (Pfoser, 2016). Pri zelenih fasadah lahko listopadne rastline, ki pozimi izgubijo listje, pozimi zagotovijo dovolj svetlobe. Poleg tega lahko sistemi VO podpirajo naravno prezračevanje, ki nastane z učinki vlaženja zraka ter hlajenjem dovedenega zraka (Schmidt, 2009).

Upravljanje stavb in voda

Sivo vodo iz stavb in shranjeno deževnico je mogoče uporabiti za namakanje sistemov VO. Potencial za varčevanje z vodo je odvisen od izbranega sistema, povezanega s sistemom uporabe vode za potrebe v stavbi in za namakanje rastlin (Kühle, 2020).

Zvočna izolacija

Plast substrata pri živih stenah ali v nekaterih primerih pri živih stenah s sistemom uporabe sadilnih posod predvidoma zagotavlja zvočno izolacijo, ker se hrup prenaša po sistemu VO in se od njega odbija. Dejavniki, ki vplivajo na zmanjšanje hrupa, vključujejo globino rastnega substrata in lastnosti uporabljenega materiala kot so na primer sestavni deli konstrukcije žive stene.

Vpliv na material fasade/zaščita fasade stavbe

Zaščita fasade pred vremenskimi razmerami, kot so močna deževja, veter, ekstremne temperature in spremembe temperature ter ultravijolično sevanje, je v več raziskavah opredeljena kot morebitna korist sistemov VO (Köhler, 2012; Pfoser, 2016). S preprečevanjem segrevanja gradbenega materiala in zmanjševanjem učinka pritiska vetra na fasado je mogoče podaljšati življenjski cikel fasade. Poleg tega so stene, porasle z vegetacijo, lahko zaščitene pred vandalizmom in grafiti.

Ekonomika/vrednost nepremičnine

Sistemi VO so večinoma izvedeni kot element za zagotavljanje vizualne privlačnosti, lahko pa pripomorejo k temu, da določena stavba postane (lokalna) arhitekturna znamenitost. Ker so sistemi VO pogosto predstavljeni kot trajnostna in zelena naložba, so identifikacijski element za uporabnike ali lastnika stavbe, zato lahko prispevajo k povečanju vrednosti nepremičnine.

Dobro počutje

Kot večina tipov zelene infrastrukture imajo tudi sistemi VO kot naravne prvine restorativni učinek in druge koristi, povezane z javnim zdravjem in dobrim počutjem. S prispevanjem k zniževanju ekstremnih temperatur poleti pozitivno vplivajo na toplotno obremenitev.

Proizvodnja hrane

Vertikalno kmetovanje je rastoči trend, ki je povezan s hidroponsko pridelavo v rastlinjakih in ga je mogoče najti tudi v urbanem okolju. Na živih stenah ali živih stenah s sistemom uporabe sadilnih posod je mogoče gojiti zelenjavo ali zelišča. Sisteme je mogoče uporabiti na različne načine in za različne funkcije (domača proizvodnja, šolski vrt, vzorčne stene itd.). Zelene stene se lahko uporabljajo tudi za proizvodnjo biomase (kot vir energije). Vertikalna pridelava hrane zahteva posebno vzdrževanje in obdelavo (hitro rastoče rastline, redno obrezovanje itd.).

4.3 Možni negativni učinki sistemov vertikalnih ozelenitev

Kljub oblikovanju zelenih strateških konceptov in razvoju NTR, kot so zelene strehe in fasade, še vedno obstajajo pomisleki glede izvedbe zelenih fasad. V študiji o ovirah in pripravi ukrepov za celostno izvedbo sistemov VO v nemških mestih se je Kühle (2020) osredotočil na opredelitev ključnih deležnikov in njihovih odnosov ter s tem povezanih ovir za izvedbo sistemov VO. S sistemi VO so povezani štirje ključni izzivi: pomanjkanje kvantitativnih metod za ovrednotenje uspešnosti ozelenitev fasad, pomanjkljiva analiza stroškov in koristi, pomanjkanje participacije in prenosa znanja ter nezadostno vzdrževanje. Ovire, kot so visoki finančni stroški, težave z upravljanjem in vzdrževanjem, pomanjkanje predpisov itd., prispevajo k neurejenosti, poškodbam in drugim težavam, ki vplivajo na nezadovoljstvo uporabnikov in javnosti s sistemi VO. Slabosti vertikalnih ozelenitev so povezane s specifičnimi vrstami sistemov VO. Največkrat težave izhajajo iz neustreznega načrtovanja ali uporabe neprimernih rastlin ali strukturnih elementov.

Finančni stroški (splošno)

Ker se tehnologija vertikalnih ozelenitev še vedno razvija, so stroški načrtovanja in izvedbe zelenih sten še vedno zelo visoki, zlasti za žive stene. Visoki stroški izvedbe in vzdrževanja so glavni razlog, zakaj se investitorji odpovejo uporabi sistemov VO. Celotni stroški so odvisni od sistema, količine potrebnega vzdrževanja,

višine in obsega zelene stene ter razpoložljivosti zahtevanih materialov, prevoza in stroškov dela. Vzdrževanje pogosto izvajajo storitvena podjetja (zlasti v primeru socialnih stanovanj), včasih pa tudi podjetje, ki izvaja načrtovanje in nadzoruje rast prvotno zasajenih rastlin. Kadar se zaradi visokih stroškov zmanjšajo sredstva za vzdrževanje, se rastline pogosto slabo razvijajo ali pa so prekomerno razraščene. S predvidenim izvajanjem vzdrževalnih del, ki bi jih izvedli stanovalci sami, bi bilo mogoče prihraniti stroške vzdrževanja, vendar pa je treba upoštevati varnostna tveganja in razjasniti vprašanja odgovornosti. Načrtovanje sistemov VO (zlasti živih sten in živih sten s sistemom uporabe sadilnih posod) je lahko kompleksno, zato bi standardizacija materialov, kakovosti in stroškov vertikalnih ozelenitev omogočila lažjo primerljivost med različnimi vrstami ozelenitve ter tako olajšala odločitev za ustrezno vrsto sistema VO.

Analiza stroškov in koristi ter zeleno oglaševanje

Analiza stroškov in koristi je uporaben instrument in orodje za odločanje o določenem proizvodu ali ureditvi (fasade). Nekateri vplivi ozelenitve fasad na okolje se še vedno določajo samo kvalitativno, saj obstaja premalo podatkov, teh podatkov ni mogoče ovrednotiti oziroma obstajajo možnosti kvantitativnega pridobivanja podatkov. Čeprav nekaterih učinkov sistemov VO pri analizah stroškov in koristi ni mogoče enostavno upoštevati, je potrebna metoda ocenjevanja, da se problematične izvedbe in neustrezne rešitve primerjajo z dobro prilagojenimi in uravnoteženimi sistemi v smislu uporabe materialov, porabe energije v življenjskem ciklu itd. Če so metode ocenjevanja nepregledne, obstaja tveganje lažnih navedb o trajnostnih naložbah v obliki »zelenega oglaševanja«. Poznamo primere visokotehnoloških inovacij, ki zahtevajo veliko sredstev in so na meji smiselnega, na primer vrtljiva drevesa na fasadah in kot fasadni sistemi visoke kakovosti. Še en skrajni primer sodobne uporabe rastlin na stavbah so zelene stolpnice ali »vertikalni gozdovi«. Osnovna vprašanja v zvezi s takimi projekti je treba preveriti z vrednostno analizo trajnostne gradnje trajnostnega načrtovanja in jih po določenem obdobju preveriti.

Vzdrževanje

Zelene stene so žive prvine, ki jih je treba vzdrževati, da se njihov potencial lahko razvije v celoti. Ob pomanjkljivem vzdrževanju začnejo sistemi propadati, zelena rešitev pa postane gospodarsko, okoljsko in estetsko neučinkovita in netrajnostna. To lahko povzroči nezadovoljstvo uporabnikov in vodi k predčasni zamenjavi ali popolni odstranitvi sistemov. Poleg tega lahko nezadostno vzdrževanje in splošno slabo stanje sistemov pripelje do tehničnih težav sistemov za oskrbo z vodo in

hranili ali na površini stavbe. Vzdrževanje sistemov VO vključuje različne faze podobno kot pri drugih vrstah zelene infrastrukture: vzdrževanje ob vzpostavitvi sistema (v prvih dveh letih), redno vzdrževanje (za zagotavljanje minimalnega standarda vzdrževanja zelene stene – obrezovanje vej in odstranjevanje odpadlega listja itd.), ciklično vzdrževanje (manj pogosto, za vzdrževanje varnosti in funkcionalnosti), nujno vzdrževanje (če pride do okvare sestavnega dela sistema) in obnova (sprememba oblike ali nekaterih delov). V projektu so obravnavane rešitve za redno vzdrževanje z razvojem morebitnega robotskega sistema za specifična dela, ki jih je treba izvesti med vegetacijskim obdobjem (glejte 3. del). Lastnik (stranka) in ekipa za vzdrževanje morata imeti ustrezna znanja, tehnologije in vire za izvedbo vzdrževanja določenega sistema VO. Nezaželeno vzdrževanje, na katerega lahko gledamo kot na del izvedbe objekta, je ravno tako vzrok predsodkov glede sistemov VO. Nekateri raziskovalci kot rešitev predlagajo, da se pogoji vzdrževanja VO povežejo z gradbenimi dovoljenji, in da naj se enako kot popis urbanih dreves izvaja tudi popis ozelenjenih fasad, ki mejijo ali so izvedene na javnih površinah, saj to predstavlja instrument za spremljanje vzdrževanja zelenih fasad (Kuhle, 2020).

Pritrditev na fasado

Podporni sistemi so povezani s stenami stavbe ter predstavljajo podlago za sisteme VO. Sestavljeni so iz grajenih, umetnih in naravnih materialov. Te strukture so dodatna obremenitev za fasade. Poleg tega lahko konstrukcijski elementi služijo oz. se uporabijo kot možnost dostopa do notranjosti stavbe in zgornjih nadstropij, če so sistemi povezani s tlemi in omogočajo plezanje. Poleg tega je treba posvetiti pozornost tudi ustreznim tehničnim rešitvam, ki upoštevajo ekstremne vremenske razmere, zlasti če se za ozelenitev uporabljajo večje rastline (drevesa, grmi). Upoštevati je treba težo zemlje ali substrata in koreninskega sistema rastlin, da ne bi prišlo do poškodb in težav z vlago. Zlasti neposredni sistemi (z vzpenjalkami) se lahko zarastejo v reže fasade in lahko s svojo rastjo povzročijo poškodbe. Zračno režo med slojem rastlin in stavbo je mogoče prilagoditi za zagotavljanje prezračevanja pred fasado. Na splošno je tveganje poškodb na stavbi nizko, če je sistem VO strokovno načrtovan, saj je večino poškodb mogoče povezati z značilnostmi rastlin. Za preprečevanje poškodb fasade je treba v 6- do 24-mesečnih intervalih izvajati redno vzdrževanje in nadzor (Koehler, 1993). Magliocco in Perini (2015) navajata še eno tehnično težavo v zvezi z vzdrževanjem, ki se nanaša na odtok vode. Reinwald in sodelavci (2019) opozarjajo tudi na sisteme ozelenitev s koriti, v katerih je prostor za korenine preveč omejen in namakalni sistemi včasih ne zadostujejo potrebam rastlin.

Požarna varnost

Kühle (2020) meni, da negotovosti glede ugotavljanja protipožarne zaščite med investitorji ustvarjajo nezaupanje v ozelenitve fasad. Nemško združenje gasilskih enot (DFV) je objavilo zahteve glede vzdrževanja, zato mora biti pri odobritvi gradnje priloženo navodilo za obratovanje in vzdrževanje. Ker so požarne obremenitve odvisne od vzdrževanja rastlin (vključno z namakanjem, gnojenjem, obrezovanjem), morajo biti dolgoročna zagotovila o vzdrževanju določena že v postopku načrtovanja (Bachmeier, 2020).

Biotska raznovrstnost

Čeprav je biotska raznovrstnost prepoznana kot skupno dobro, pri čemer sistemi VO delujejo kot habitati za rastlinstvo in živalstvo, lahko ljudje zelene fasade dojemajo kot težavne zaradi pričakovanega povečanja števila žuželk in prisotnosti majhnih živali. Mayrand in sodelavci (2018) so v živih stenah odkrili veliko količino pajkov, pri zelenih fasadah z rastlinami, ki izraščajo iz tal, pa so prevladovala žuželke (zlasti hrošči). Prebivalci so lahko nezadovoljni tudi zaradi odpadlih listov, ki so znak neurejenosti in pomanjkanja vzdrževanja. Schloesser (2003) ta strah pripisuje ljudem, ki nimajo nobenih izkušenj s sistemi VO. Čeprav na ljudi, ki imajo izkušnje s sistemi VO, vplivajo podobni dejavniki, so ti imeli manj pomislekov glede VO.

Načrtovanje, predpisi, sodelovanje javnosti

Dokumenti prostorskega načrtovanja pogosto ne obravnavajo sistemov VO. Lahko pa se nanje nanašajo predpisi, ki obravnavajo vprašanja v zvezi z upravljanjem vegetacije, za katero velja tveganje požara, z dostopom reševalnih služb, ravnanjem z odpadnim materialom in njegovim odstranjevanjem, drenažo, elementi, ki negativno vplivajo na razsvetlavo in prometne znake, uporabo dvignjenih delovnih plosčadi itd. Ustrezne zahteve so povezane z lokacijo (razdalje, grajena struktura itd.) in stavbami (nosilnost, požarna varnost, dostopi, standardi energetske učinkovitosti itd.). Sodelovanje javnosti pri postopki načrtovanja in oblikovanja je pomembno kot splošni pristop za uspešno urbanistično načrtovanje. Enak pristop je mogoče uporabiti za izvedbo sistemov VO na specifičnih stavbah, zlasti v stanovanjskih območjih. Pomanjkanje informacij ali nezadostne informacije o sistemih VO in ne vključevanje prebivalcev v postopek načrtovanja lahko vodi v nezadovoljstvo javnosti s končnim rezultatom.

VIRI IN LITERATURA

Adams, W. H. (1991): *Roberto Burle Marx: the unnatural art of the garden*. New York, The Museum of Modern Art. Dosegljivo na: <https://www.moma.org/calendar/exhibitions/337?locale=en> (sneto 10. 5. 2020)

Bachmeier, P. (2020): *Fachausschuss Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der deutschen Feuerwehren*. Dosegljivo na: <https://docplayer.org/205249611-Brandschutz-grossflaechig-be-gruenter-fassaden.html> (sneto 20. 9. 2021)

Brasche, S., in Bischof, W. (2005): Daily time spent indoors in German homes – baseline data for the assessment of indoor exposure of German occupants. *Int J Hyg Environ Health*, 208(4), str. 247–53. DOI: 10.1016/j.ijheh.2005.03.003

Buchin O., Hoelscher M.-T., Meier F., Nehls T., in Ziegler F. (2016): Evaluation of the health-risk reduction potential of countermeasures to urban heat islands. *Energy and Buildings*, 114, str. 27–37. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.06.047

BuGG (Bundesverband Gebäudegrün e.V.) (2019): *Förderung von Dach- und Fassadenbegrünung*. Dosegljivo na: <https://www.gebaeudegruen.info/gruen/dachbegruenung/wirkungen-vorteile-fakten/foerderung-2019> (sneto 30. 9. 2020).

Dunnett, N., in Kingsbury, N. (2010): *Planting green roofs and living walls*. London, Timber Press.

Fassbinder, H. (2014): *Vom urbanen Grün zur globalen Verantwortung – Harry Glück und seine begrünten Wohnkomplexe*. Dosegljivo na: <https://biotope-city.net/vom-urbanen-gruen-zur-glo> (sneto 25. 10. 2021).

Giedion, S. (2008): *Space, time and architecture: the growth of a new tradition*. London, Harvard University Press.

Heidman, C., Schneider, A., Peitz, M., Rosenkranz, A., in Schneide, M. (2020): *Hamburg fördert Dachbegrünung und Fassadenbegrünung*. Dosegljivo na: <https://www.energie-fachberater.de/dach/dacheindeckung/dachbegruenung/hamburg-foerdert-dachbegruenung-und-fassadenbegruenung.php> (sneto 30. 9. 2020).

Hindle, R. L. (2013): A vertical garden: Origins of the Vegetation Bearing Architectonic Structure and System (1938). *Studies in the History of Gardens and Designed Landscapes*, 32(2), str. 99–110. DOI: 10.1080/14601176.2011.653535

Hoelscher, M.-T., Nehls T., Jänicke B., in Wessolek G. (2016): Quantifying Cooling Effects of Facade Greening: Shading, Transpiration and Insulation. *Energy and Buildings*, 114, str. 283–290. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.06.047.

IASP (Institut für Agrar- und Stadtoekologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin) (2018): *Literaturstudie zur Ermittlung von Anrechnungsfaktoren des Biotopflächenfaktors unterschiedlicher Kategorien der Flächentypen der Dach- und Vertikalbegrünungen - Abschlussbericht*. Berlin.

IBA-Wien (2021): *Biotope City Wienerberg*. Dosegljivo na: <https://www.iba-wien.at/projekte/projekt-detail/project/biotope-city-wienerberg> (sneto 25. 10. 2021).

Jänicke, B., Meier, F., Hoelscher, M.-T., in Scherer, D. (2015): Evaluating the effects of façade greening on human bioclimate in a complex urban environment. *Advances in Meteorology*, str. 1–15. DOI: 10.1155/2015/74725

Koehler, M. (1993): *Fassaden- und Dachbegrünung*. Stuttgart, Ulmer.

Koehler, M. (2019): *Fassadenbegrünungen in Berlin ein Vergleich von 1985 zu 2018 - Funktionen und Leistungen der Fassadenbegrünungen*. Hochschule Neubrandenburg. Dosegljivo na: https://www.julius-kuehn.de/media/Institute/GF/_FS_Stadtgruen/9/6_Koehler_gFS_Stadtgruen.pdf (sneto 4. 11. 2020).

Kühle, L. (2020): *An analysis of obstacles and elaboration of measures for an Integrative implementation of façade greening in German cities; Stakeholder workshop evaluation and constellation analysis*. Magistrsko delo. Berlin, Tehnična univerza v Berlinu.

Lambertini, A. (2007): *Vertical gardens: bringing the city to life*. London, Thames & Hudson.

Land Berlin (2021): *BFF – Biotopflächenfaktor*. Dosegljivo na: <https://www.berlin.de/sen/uvk/en/nature-and-green/landscape-planning/baf-biotope-area-factor/> (sneto 10. 11. 2021).

Langergraber, G., Castellar, J. A. C., Pucher, B., Baganz, G. F. M., Milosevic, D., Andreucci, M.-B., idr. (2021): A framework for addressing circularity challenges in cities with nature-based solutions. *Water*, 13, 2355. DOI: 10.3390/w13172355

MA19 (2021): *Architektur und Stadtgestaltung: Fassaden- und Vertikalbegrünung Internationale & nationale Best-Practice-Beispiele*. Dosegljivo na: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/e000037.pdf> (sneto 19. 10. 2021).

MA22 (2019): *Leitfaden Fassadenbegrünung*. Dosegljivo na: <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/fassadenbegrueung.html> (sneto 19. 10. 2021).

Magliocco, E., in Perini, K. (2015): The perception of green integrated into architecture: installation of a green façade in Genoa, Italy. *AIMS Environmental Science*, 2(4), str. 899–909.

Millenium Ecosystem Assessment (2005): *Millenium assessment reports*. Dosegljivo na: <https://www.millenniumassessment.org> (sneto 19. 10. 2021).

MVRDV (2000): *EXPO 2000*. Dosegljivo na: <https://www.mvrdv.nl/projects/158/expo-2000> (sneto 30. 8. 2020).

Nextroom (2021): *Wohnpark Alt Erlaa*. Dosegljivo na: <https://www.nextroom.at/building.php?id=239> (sneto 25. 10. 2021).

Ogrin, D. (1993): *Vrtna umetnost sveta: pregled svetovne dediščine*. Ljubljana, Pudon.

Ottelé, M. (2011): *The green building envelope - Vertical greening*. Dostopno na: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A1e38e393-ca5c-45af-a4fe-31496195b> (sneto: 30. 9. 2020).

Pearlmutter, D., Pucher, B., Calheiros, C. S. C., Hoffmann, K. A., Aicher, A., Pinho, P., idr. (2021): Closing water cycles in the built environment through nature-based solutions: The contribution of vertical greening systems and green roofs. *Water*, 13(16), 2165. DOI: 10.3390/w13162165

Peck, S. W., in Callaghan, C. (1999): *Greenbacks from green roofs: Forging a new industry in Canada*. Prepared for Canada Mortgage and Housing Corporation. Ottawa, Environmental Adaptation Research Group, Environment Canada.

Pérez, G., Coma, J., Barreneche, C., de Gracia, A., Urrestarazu, M., Bur s, S., in Cabeza, L. F. (2016): Acoustic insulation capacity of Vertical Greenery Systems for buildings. *Applied Acoustics*, 110, 218226. DOI: 10.1016/j.apacoust.2016.03.040

Pfoser, N. (2016): *Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung*. Doktorska disertacija. Darmstadt, Tehni na univerza v Darmstadtu, Fakulteta za arhitekturo.

Poly Vigor Inc. (2018): *Greening Works*. Dosegljivo na: https://www.greenroof.com.tw/works_class.php?item=2. (sneto: 9. 10. 2021).

Presse Service der Stadt Wien (2020): *Gr nfassade der MA 48 feiert 10. Geburtstag – natürliche Klimaanlage schon das Klima und spart 45 Klimageräte pro Jahr ein*. Dostopno na: <https://www.wien.gv.at/presse/2020/07/15/gruenfassade-der-ma-48-feiert-10-geburtstag-natuer> (sneto: 25. 10. 2020).

Schloesser, S. A. (2003): *Zur Akzeptanz von Fassadenbegrünung: Meinungsbilder Kölner Bürger – eine Bevölkerungsbefragung*. Doktorska disertacija. Köln, Univerza v K lnu.

Sekaran, V. (2015): *Exterior green wall design*. Victoria, Mulgrave.

Mestna uprava Tajpeja (2009): *Compilation of letter interpretation of Taipei city construction law, No. 09878313200*. Dosegljivo na: http://www.dbaweb.tcg.gov.tw/taipeilaw/law_content.aspx?ID=11916. (sneto 9. 10. 2021).

Mestna uprava Tajpeja (2019): Residential area in Taipei City and Taipei City housing overview. *Municipal Statistics Weekly No. 1052*. Department of Accounting.

Tiwary, A., Godsmark, K., in Smethurst, J. (2018): Field evaluation of precipitation interception potential of green façades. *Ecological Engineering*, 122, str. 69–75. DOI: 101016/j.ecoleng.2018.07.026

Wong, N. H., Tan, A. Y. K., Tan, P. Y., Chiang, K., in Wong, N. C. (2010): Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*. 45(2), str. 411–420. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.06.017



E
RTE
ATUR
ER
KUNST
TEN
TUR
P
UNST
ST
DE
GARTEN
STAN
EIN
DIE
GARTEN

2. del

ZAZNAVANJE IN ODNOS DO VERTIKALNIH OZELENITEV

Damjana Gantar^a, Jana Kozamernik^a,

Lukas Kühle^b, Ina Šuklje Erjavec^a

^a Urbanistični inštitut Republike Slovenije (UIRS), Ljubljana, Slovenija

^b Oddelek za ekohidrologijo in vrednotenje krajin, Inštitut za ekologijo,
Tehnična univerza v Berlinu (TUB), Berlin, Nemčija

2. del Zaznavanje in odnos do vertikalnih ozelenitev

1	Uporabniki in deležniki, povezani z vertikalnimi ozelenitvami	33
	<i>Damjana Gantar</i>	
1.1	Analiza deležnikov	33
1.2	Spletna anketa za štiri skupine deležnikov v treh mestih	36
1.3	Mnenja o koristih vertikalnih ozelenitev	42
1.4	Mnenja o ovirah za vertikalne ozelenitve	43
2	Spodbujanje izvajanja vertikalnih ozelenitev s sodelovanjem deležnikov	45
	<i>Damjana Gantar, Ina Šuklje Erjavec, Lukas Kühle</i>	
2.1	Soustvarjanje v zvezi z oblikovanjem in izvajanjem vertikalne ozelenitve	45
2.2	Intervjuji in delavnice za občinske uradnike v Ljubljani	48
2.3	Delavnice in intervjuji s strokovnjaki: nosilci odločanja in načrtovalci v Berlinu o ovirah za vertikalne ozelenitve	50
3	Zaznavanje zelenih sten	54
	<i>Jana Kozamernik</i>	
3.1	Prostorske značilnosti, zelene prvine in zaznavanje prostora	55
3.2	Anketni vprašalnik in vključevanje vizualnih dražljajev	56
3.3	Analiza odgovorov in rezultati	56
3.4	Razumevanje zaznavanja uporabnikov v zvezi z vertikalnimi ozelenitvami: predsodki, težave in koristi	60
4	Stališča deležnikov o prihodnosti vertikalnih ozelenitev – zaključki	62
	<i>Damjana Gantar</i>	
	Viri in literatura	64

1 Uporabniki in deležniki, povezani z vertikalnimi ozelenitvami

Drugi del knjige je namenjen analizi deležnikov, raziskavi o vplivu na deležnike in sodelovanju uporabnikov. Vključili smo raznolike skupine ljudi, kot so raziskovalci, strokovnjaki, podjetniki, oblikovalci politik in prebivalci. Te skupine smo vključili v več raziskav, ki smo jih razvili in izvedli, da bi preverili njihove poklicne ali osebne izkušnje z vertikalnimi ozelenitvami. Osebna prepričanja so bila najbolj opazna pri izražanju koristi in ovir za izvajanje vertikalnih ozelenitev, in sicer gre za različne pomisleke glede ozelenjenih fasad. Mnenje o koristih in ovirah smo ugotavljali pri vsaki od predstavljenih raziskav (vprašalnikih, intervjujih in delavnicah) ter pri analizi vizualnih preferenc v zvezi z vertikalnimi ozelenitvami (raziskava o zaznavanju zelenih sten).

Ozelenitev stavb zajema stavbe, prekrte z vzpenjarkami, ali klasične zelene fasade in najnovejše oblike živih sten. Kot vse stvari, ki so nam poznane v določeni tradicionalni obliki ter pozneje z raziskavami in razvojem, ki jim sledi sodobno oblikovanje, doživijo razcvet, je mogoče tudi vertikalne ozelenitve obravnavati z različnih zornih kotov in jih po navadi zaznamujejo individualna stališča. To dvojnost smo opazili tudi, ko smo pristopili k uporabnikom in deležnikom v projektu, saj so med izražanjem svojega dojemanja vertikalnih ozelenitev poleg profesionalnega odnosa razkrili tudi svoje osebne občutke.

1.1 Analiza deležnikov

Deležnik je »oseba, na primer zaposleni, stranka ali prebivalec, ki je vključena v organizacijo, družbo itd. ter ima zato do nje odgovornosti in je zainteresirana za njen uspeh« (Cambridge University, 2021). V širšem smislu je to lahko katera koli oseba, ki se poklicno ali zasebno ukvarja z določenimi zadevami ali je zanje zainteresirana.

Analiza deležnikov je metoda, ki pri obravnavanju vprašanj, ki zahtevajo poznavanje deležnikov, zagotavlja potrebne informacije ali podlago za nadaljnje pristopanje do deležnikov in njihovo vključevanje v proces. Analiza deležnikov je postopek opredelitve oseb, povezanih z nekaterimi vprašanji (npr. z razvojem določenih območij, s projekti prenove), in njihovo združevanje glede na hierarhijo ravni sodelovanja, interes, znanje in vpliv v projektu. Deležniki so v skupine razvrščeni glede na ključne lastnosti.

Potencialni deležniki pri vertikalnih ozelenitvah (VO)



Slika 2.1: Potencialni deležniki, vključeni v razvoj vertikalnih ozelenitev (ilustracija: Bibi Erjavec)

V sklopu projekta so bili deležniki opredeljeni z analizo deležnikov (naloge 2.1), ki so jo izvedli trije projektni partnerji (UIRS, TUB in G4C). Rezultat je bil nabor deležnikov za Nemčijo, Avstrijo in Slovenijo. Z rezultati analize deležnikov smo pridobili ustrezne stike in informacije za vsako skupino deležnikov. Večina navedenih deležnikov ima sedež v enem od treh glavnih mest, nekateri deležniki pa delujejo tudi na nacionalni ali regionalni ravni. V primeru Slovenije smo poleg Ljubljane vključili tudi občinske uradnike drugih mestnih občin in občin, ki vključujejo mesta s širšim regionalnim pomenom – regionalna središča.

Za podrobno analizo deležnikov smo izbrali štiri glavne skupine deležnikov. To so:

- prebivalci,
- občinski uradniki,

- nepremičninski investitorji in gradbinci ter
- strokovnjaki (s področij hortikulture, krajinske arhitekture, arhitekture).

Te štiri skupine smo povabili k sodelovanju v spletni anketi. Pred tem smo v mestni občini Ljubljana opravili podrobne intervjuje z izbranimi občinskimi uradniki glede vloge ključnih oddelkov v mestni upravi pri izvedbi vertikalnih ozelenitev v mestu. V Berlinu pa so strokovnjaki in občinski uradniki sodelovali na dveh delavnicah in v intervjujih.

- **Prebivalci** so del splošne javnosti, sodelujejo na podlagi osebnega interesa in niso strokovno ali poslovno povezani z načrtovanjem, izvajanjem, vzdrževanjem in lastništvom vertikalnih ozelenitev. Lahko so naklonjeni ali nenaklonjeni vertikalnim ozelenitvam, lahko pa o njih niti nimajo posebnega mnenja. Podskupina prebivalcev so tudi lastniki ali najemniki stavb z ozelenjenimi fasadami in tisti, ki si bi si želeli ozelenjeno fasado ali bi ji nasprotovali, če bi obstajala možnost izvedbe vertikalne ozelenitve.
- **Občinski uradniki** so del javne uprave, njihove naloge so administrativne in/ali zakonodajne. Ker se občine zelo razlikujejo po velikosti in številu zaposlenih v občinski upravi (tj. vsaj v Sloveniji), smo pri izvajanju raziskave prosili za vključitev občinskih uradnikov, pristojnih za odločanje in izvajanje prostorskega razvoja in naložb, ki vključujejo tudi vertikalne ozelenitve. Zato smo v raziskavo vključili župane in vodje oddelkov za prostorsko načrtovanje, varstvo okolja, investicije in drugih ključnih oddelkov.
- **Nepremičninski investitorji in gradbinci** so deležniki zaradi svoje poklicne pripadnosti, hkrati pa imajo lahko tudi osebne interese. Za izvajanje vertikalnih ozelenitev so lahko zainteresirani zaradi finančnih koristi, kot je povečanje vrednosti naložbe, saj se vrednost določenega mestnega območja zaradi vertikalnih ozelenitev načeloma zviša, ali zaradi možnosti pogajanja za večjo gostoto pozidave pod pogojem, da se izvede določen obseg vertikalnih ozelenitev. Vendar pa lahko njihov interes traja tudi samo do prodaje nepremičnine. Navadno sodelujejo z investitorji, v primeru javnih investicij pa tudi z občinskimi uradniki, ki javne naložbe vodijo ali načrtujejo.
- **Strokovnjak** je splošen izraz, ki vključuje deležnike, ki so zainteresirani in vključeni v določeno problematiko ter se z njo poklicno ukvarjajo. Imajo določena specifična znanja in spretnosti, delajo v praksi ter imajo izkušnje (pretekle, sedanje) v projektih, povezanih z določenim področjem. Pri vključevanju strokovnjakov je treba upoštevati, da imajo lahko poleg poklicnega interesa tudi osebne preference, da zagovarjajo določeno smer razvoja ali ji nasprotujejo. V primeru projektov vertikalnih ozelenitev so bili strokovnjaki razdeljeni v tri skupine: (1) krajinski arhitekti in prostorski načrtovalci,

arhitekti, urbanisti in strokovnjaki za rastline, trajnostno energijo, varstvo okolja, ohranjanje narave, hortikulturo, mestno gozdarstvo, vrtnarstvo, javno zdravje in podobno; (2) strokovnjaki v gradbenem sektorju ter (3) strokovnjaki, vključeni v izvajanje in vzdrževanje vertikalnih ozelenitev.

1.2 Spletna anketa za štiri skupine deležnikov v treh mestih

1.2.1 Potek spletne ankete

Raziskava je zajemala tri glavna mesta – Berlin (Nemčija), Dunaj (Avstrija) in Ljubljano (Slovenija) –, ki sovpadajo tudi s sedežem raziskovalnih ustanov, vključenih v projekt. Kot prestolnice so ta mesta bolj zanimiva in načeloma tudi bolj zainteresirana za nove razvojne dosežke in naložbe v inovativno arhitekturno in urbanistično načrtovanje. Če ta mesta primerjamo, vidimo, da ima vsako svojo tradicijo in značilen razvoj vertikalnih ozelenitev stavb, precej različna pa sta tudi število in izvedba sodobnih ozelenjenih fasad v teh mestih.

Za vključevanje deležnikov v načrtovanje in raziskovanje se uporabljajo različne metode in orodja, med katerimi so vprašalniki oziroma ankete še vedno najpogostejše uporabljena orodja za ugotavljanje zaznavanja in preferenc prebivalcev, saj so ponovljivi in primerljivi ter je njihova izvedba razmeroma preprosta. S programom Google Obrazci smo izdelali štiri različne vprašalnike, prilagojene štirim različnim skupinam deležnikov. Vsi trije projektni partnerji so uporabili iste vprašalnike, prevedene v nacionalne jezike.

Uvod in splošna vprašanja so bili enaki za vse skupine, sledila so posebna vprašanja za vsako skupino. Vprašalniki so bili strukturirani po sklopih:

- uvod in opredelitev vertikalnih ozelenitev;
- vprašanja o poznavanju vertikalnih ozelenitev (sodelovanje v projektih, osebne izkušnje);
- mnenje o koristih in ovirah vertikalnih ozelenitev;
- vprašanja o izkušnjah z vertikalnimi ozelenitvami (osebne izkušnje ali izvedeni projekti);
- podrobna vprašanja o izvedenih projektih;
- mnenje o »prihodnosti vertikalnih ozelenitev«;
- osebni podatki.

Deležnikom, vključenim v vsako od štirih skupin, smo poslali e-sporočilo z vabilom in povezavo do dodeljenega vprašalnika. Kontaktne podatke smo pridobili s predhodno analizo deležnikov. V Ljubljani smo anketo izvajali decembra 2019 in julija 2020, in sicer je obakrat trajala en mesec, na Dunaju smo jo izvajali decembra 2019 in julija 2020, v Berlinu pa smo jo izvajali med februarjem in aprilom 2021.

Preglednica 2.1: Sodelujoči deležniki po mestih in skupinah

Skupine deležnikov	Št. odgovorov		
	Berlin	Dunaj	Ljubljana
Prebivalci	94	21	30
Občinski uradniki	21	12	52
Nepremičninski investitorji in gradbena podjetja*	3	5	6
Strokovnjaki	4	22	33
Št. odgovorov za mesto	122	60	121
Št. odgovorov skupaj	303		

Opomba: Skupino v Ljubljani so sestavljali zlasti predstavniki gradbenih podjetij (pet) in en nepremičninski investitor, skupino v Berlinu pa so sestavljali samo predstavniki gradbenih podjetij. V skupini z Dunaja sta bila dva nepremičninska investitorja.

Zaradi precej zapletene strukture ankete (štiri skupine in štirje vprašalniki s samo nekaj vprašanji, ki jih je mogoče neposredno primerjati med skupinami, odprti odgovori, Likertova lestvica) je bila podrobnejša statistična analiza neizvedljiva, zato smo izračunali samo osnovne statistike. Ustrezne informacije o specifičnih, zlasti opisnih odgovorih za vsako skupino smo dobili s kvalitativno analizo. Vse štiri skupine smo povprašali o njihovih mnenjih glede koristi in ovir vertikalnih ozelenitev, kar nam je omogočilo, da smo pridobili različna mnenja pri različnih skupinah deležnikov. Strokovni deležniki, tj. občinski uradniki, strokovnjaki in nepremičninski investitorji ter gradbinci, so poleg izražanja osebnih stališč odgovarjali tudi na vprašanja o poklicnih izkušnjah z zelenimi stenami. Te odgovore smo podrobno preučili, da bi lažje opredelili financiranje, mehanizme in razloge za težave ali uspeh izvedenih vertikalnih ozelenitev.

Anketa omogoča nekatere primerjave med štirimi skupinami deležnikov pri vprašanjih, skupnih vsem štirim skupinam, in med tremi skupinami glede na prebivališče (mesto). V nadaljevanju so najprej predstavljeni specifični rezultati vprašanj, prilagojenih določeni skupini, nato pa so podani rezultati za vprašanja, ki so skupna vsem štirim skupinam: o koristih in ovirah za vertikalne ozelenitve.

1.2.2 Rezultati za skupino prebivalci

Uvodna vprašanja za skupino prebivalci so preverjala seznanjenost z vertikalnimi ozelenitvami in njihovo pojavnostjo v prostoru. Na vprašanje »Ali poznate izraz ‚vertikalne ozelenitve‘?« je pozitivno odgovorilo 97,2 % anketirancev v Berlinu, 95,2 % na Dunaju in 63,3 % v Ljubljani. Visok delež anketirancev v Berlinu (90,3 %), na Dunaju (95,2 %) in v Ljubljani (86,7 %) je že opazil vertikalne ozelenitve na javnih mestih. Rezultati posredno odražajo stanje ali pogostost vertikalnih ozelenitev v teh mestih in potrjujejo pomen praktičnih osebnih izkušenj za ozaveščenost o določeni tematiki. Skupina prebivalci je za zaključek odgovarjala na vprašanje o osebnih izkušnjah z ozelenjenimi fasadami, in sicer je 8,3 % anketirancev v Berlinu, 10 % na Dunaju in 3,8 % v Ljubljani odgovorilo, da živijo v stavbi z ozelenjeno fasado.

Vprašanje odprtega tipa »Kaj razumete pod izrazom ‚vertikalne ozelenitve‘?« je prineslo še boljši vpogled v razumevanje pojma s strani prebivalcev treh mest:

- *Stene, prekrite z rastlinami.*
- *Ozelenitev fasad.*
- *Ozelenitev grajenih vertikalnih elementov, kot so na primer oporni zidovi.*
- *Zidovi in ograje bolj ali manj prekriti z rastlinami, ki se vzpenjajo po njih.*
- *Zid, na katerem so žepi z zemljo, v katerih so rastline ali vzpenjavke.*
- *Rastline, ki se vzpenjajo po stavbah.*

Podobnost odgovorov kaže, da prebivalci na splošno razumejo ozelenitev fasad in drugih vertikalnih struktur (sten, ograj, balkonov, žic, stebrov in špalirjev). Nekateri anketiranci so pokazali boljše poznavanje tematike, ko so omenili vzpenjavke in posebno oblikovane strukture, kot so lonci in mreže. En anketiranec je omenil družbeni vidik: *ozelenitev javno dostopnih zidov in ozelenitev fasad v mestnih okoljih.*

Prebivalci Berlina so navedli še podrobnejše odgovore, in sicer so omenili morebitne koristi sistemov vertikalne ozelenitve in rastlin:

- *Plezalke, ki izražajo iz zemlje/tal s stensko oporo ali brez (bršljan, slak) in sistemi, pritrjeni na steno (modularni sistemi).*
- *Za hlajenje stavbe in notranjosti z dvoriščne strani.*
- *Izraba ozelenjenih hišnih fasad v mestnih območjih za izboljšanje lokalne (mikro)klime.*
- *Uporaba rastlin (različnih vrst) za prekrivanje ali dopolnjevanje fasade stavbe.*
- *Cilj je zagotoviti več koristi, kot so zniževanje temperature, ekološka povezljivost, zmanjšanje stroškov energije, proizvodnja hrane, okraševanje in socialne politike.*

Prebivalci Dunaja so podobno kot prebivalci Berlina omenili rastline, ki preraščajo zunanje stene, strehe in druge grajene konstrukcije, vključno z zalivanjem in tehnično podporo za rastline, kot so mahovi, trave in cvetje.

Bolj raznoliki odgovori prebivalcev Berlina in Dunaja odražajo tudi večjo seznanjenost z vertikalnimi ozelenitvami, saj je v teh mestih večji delež stavb prekrit z zelenjem (tradicionalni in sodobni sistemi) kot v Ljubljani. Poleg tega se v Berlinu in na Dunaju izvaja več zakonsko predpisanih in drugih dejavnosti ter ukrepov načrtovanja in upravljanja vertikalnih ozelenitev.

Rezultati kažejo, da je odstotek ljudi, ki so jim vertikalne ozelenitve na javnih površinah všeč in jih cenijo, zelo visok: 97,3 % anketirancev v Berlinu, 100 % na Dunaju in 84,6 % v Ljubljani. Pri odgovorih odprtega tipa je bilo mogoče zaznati nekaj ravnodušnih ali negativnih odgovorov, vendar pa tudi nekaj navdušenja.

- *Do neke mere poživijo prostor, težava pa so zaraščene površine ali preveč vertikalnih zelenih površin in žuželke.*
- *Primerna je morda za zidove, manj pa za fasade. To bolj ustreza pogojem za rast (do določene višine).*
- *Odvzema preveč svetlobe (bršljan).*
- *Ni mi všeč, vendar razumem njihove koristi.*
- *Možnost za plezanje vlomilcev po steni, širjenje požara in žuželke v stavbi so del tega in zato so zanimive.*
- *Pestrost je krasna, vendar v hiši vseeno ne želim imeti ljubkih majhnih živalic.*
- *Ureditev zelenih sten je res zanimiva, saj ustvarja novo identiteto stavbe. Sprašujem se, zakaj ni več takih stavb!*

1.2.3 Rezultati za skupino občinski uradniki (občine)

Vprašalnik za občinske uradnike je bil usmerjen prednostno v preverjanje poklicnih izkušenj in manj v preverjanje osebne dojemanja. Vprašanja, ki obravnavajo koristi in ovire, razkrijejo predvsem osebno dojemanje, zato so ti odgovori predstavljeni ločeno (glejte razdelek 1.3). V Sloveniji so bili v anketo za občinske uradnike vključeni zaposleni več občin, ne le Ljubljane. Za večje občine, vključno z Ljubljano, so v raziskavi sodelovali različni uradi ali oddelki. V Avstriji sta bili poleg različnih oddelkov na ravni mesta in okrožij Dunaja vključeni tudi dve drugi občini. V Berlinu je bilo vključenih več oddelkov na ravni mesta in okrožij.

Anketirance smo najprej spraševali, ali so sodelovali v projektih, ki vključujejo vertikalne ozelenitve, in kakšen je bil delež njihovega sodelovanja v projektih, ali imajo izkušnje z vertikalnimi ozelenitvami ter ali do zdaj niso sodelovali v projektih

oziroma nimajo nobenih izkušenj. V Berlinu je 31,8 % uradnikov že sodelovalo v takih projektih, 22,7 % jih je imelo nekaj izkušenj, 45,5 % pa jih ni imelo nobenih izkušenj z vertikalnimi ozelenitvami. Na Dunaju je 25 % uradnikov že sodelovalo v projektih, 33,3 % jih je imelo nekaj izkušenj, 41,7 % pa jih ni imelo nobenih izkušenj z vertikalnimi ozelenitvami. V Ljubljani 79,4 % uradnikov ni imelo nobenih izkušenj, 10,4 % jih je imelo nekaj izkušenj, samo 8,3 % pa jih je sodelovalo v projektih, ki so vključevali vertikalne ozelenitve. Med sodelujočimi uradniki jih je največ (v vseh mestih) sodelovalo v do desetih projektih, ki so vključevali vertikalne ozelenitve.

Za večino projektov, ki so vključevali vertikalne ozelenitve, so financiranje zagotovili:

- lokalna javna uprava (30 % v Berlinu in Ljubljani ter 25 % na Dunaju);
- 22,7 % zasebni investitorji v Berlinu;
- 31,3 % zasebna podjetja;
- 18,8 % javno-zasebna partnerstva in enak odstotek prebivalci na Dunaju. Pri tem vprašanju je bil velik delež odgovorov »Ne vem«.

Naslednja vprašanja so bila namenjena pridobivanju informacij o modelih financiranja, virih financiranja in pravnih okvirih, v skladu s katerimi občine spodbujajo vertikalne ozelenitve. Z odprtimi odgovori smo pridobili tudi specifične informacije o konkretnih ukrepih ali dokumentih.

Prav tako smo ovrednotili razloge, ki občinam preprečujejo pogostejše izvajanje vertikalnih ozelenitev. V Ljubljani se zdi, da imata ključno vlogo nezadostno znanje in pomanjkanje finančnih sredstev (oboje 50 %; možnih je bilo več odgovorov), v Berlinu pa nesodelovanje pristojnih organov (50 %) in pomanjkanje finančnih sredstev (36,4 %). Na Dunaju so razlogi pomanjkanje znanja o vertikalnih ozelenitvah, neizkušenost v zvezi z opredelitvijo stroškov in koristi ter nesodelovanje pristojnih organov zastopani v enakem deležu (26,3 %).

Z vidika prostorskega načrtovanja je bilo zanimivo tudi vprašanje o prednostnih nalogah v mestu, v katerem se je občinska uprava osredotočala na izvajanje vertikalnih ozelenitev, saj so bila izpostavljena območja s pomanjkanjem zelenih površin, območja, na katerih je treba prenoviti stavbe, deli, ki potrebujejo prostorsko identiteto, in soseske z okoljskimi problemi.

Nadaljnje prednostne naloge izvajanja vertikalnih ozelenitev, povezane s funkcijo in strukturo urbanih območij, so pokazale, da so v Berlinu izpostavljena funkcionalno mešana območja (mestno središče), stanovanjska območja in industrijska

območja, na Dunaju so izpostavljena mestna območja z okoljskimi problemi in območja s pomanjkanjem zelenih površin, v Sloveniji pa stanovanjska območja niso bila omenjena z izjemo sosesk z veliko gostoto pozidave (20 %), podobno kot v Berlinu pa so v središču pozornosti funkcionalno mešana območja in industrijska območja.

1.2.4 Rezultati za skupino nepremičninskih investitorji in gradbinci

Vprašalnik za to skupino je bil podoben vprašalniku za skupino občinskih uradnikov, saj naj bi obe skupini sodelovali pri različnih gradbenih projektih, ki vključujejo vertikalne ozelenitve. Začetna vprašanja so bila usmerjena v kompetence in znanje anketirancev. V Berlinu je dve tretjini (66,7 %, dva odgovora od treh) anketirancev sodelovalo v projektih, ki vključujejo vertikalne ozelenitve, polovica jih je bila seznanjena s projekti, ki vključujejo vertikalne ozelenitve, na Dunaju je ta delež znašal 20 % (en odgovor od petih), v Ljubljani pa 50 % (trije odgovori od šestih).

Projekti, pri katerih so sodelovali anketiranci, so vključevali zelene fasade z vzpenjavkami (ki izraščajo iz tal), sisteme živih sten z vodoravnimi sadilnimi koriti ali kombinacijo slednjih in vzpenjavk, sisteme s sadilnimi policami, sisteme s sadilnimi žepi in mahovnate stene. Najbolj priporočena je vertikalna ozelenitev, vezana na tla. Uporabljeni sistemi so bili oskrbovani z vodo iz vodovoda ali deževnico.

Nepremičninski investitorji in gradbinci v vseh treh mestih vidijo upravičenost izvajanja vertikalnih ozelenitev, če obstaja javna podpora (javna sredstva), saj to poveča vrednost nepremičnine, ali kadar so vertikalne ozelenitve prepoznane kot izravnalni ukrep. Če so se pojavile težave ali problemi z ozelenitvijo ali namakanjem, so bili ti večinoma posledica pomanjkljive oskrbe, organizacije oskrbe, posebnih vremenskih razmer (zmrzal, vročina) ali neustreznega namakanja oziroma drugih težav z zalivanjem.

1.2.5 Rezultati za skupino strokovnjaki (biotehnologi, krajinski arhitekti, arhitekti)

Strokovnjaki so vključeni v projekte, ki vključujejo vertikalne ozelenitve, v fazah raziskovanja, projektiranja in načrtovanja, pozneje pa se od njih pričakuje, da pri izvajanju projektov sodelujejo z nepremičninskimi investitorji, gradbinci in občinskimi uradniki, tako da je zelo verjetno, da bodo te tri skupine deležnikov sodelovale pri skupnih projektih.

Strokovnjaki so večinoma vključeni v stanovanjske projekte (100 % v Berlinu, 21,4 % na Dunaju in 68,9 % v Ljubljani), stanovanjske projekte, zgrajene z javnimi sredstvi (19,6 % na Dunaju), javne stavbe (75 % v Berlinu, 46,9 % v Ljubljani) in poslovne stavbe (100 % v Berlinu, 17,8 % na Dunaju in 40,6 % v Ljubljani).

Strokovnjake smo podrobno povprašali o tem, katere sisteme lahko priporočijo na podlagi svojih izkušenj. Zelene fasade z vzpenjavkami (ki izraščajo iz tal) so bile največkrat priporočene v primerjavi s sistemi s sadilnimi žepi in kombinirani sistemi (13 proti 6 na Dunaju, 11 proti 5 v Ljubljani), v Berlinu pa so bili priporočeni sistemi s sadilnimi policami, sistemi vertikalne ozelenitve, vezane na tla, in kombinirani sistemi (skupaj štirje odgovori).

1.3 Mnenja o koristih vertikalnih ozelenitev

Zaznane koristi vertikalnih ozelenitev so bile ocenjene na petstopenjski Likertovi lestvici, pri čemer se predvideva, da je lestvica linearna (drži, dokaj drži, pol-pol, dokaj ne drži, ne drži in brez odgovora). Skupaj je bilo v vprašalniku navedenih 19 koristi:

- spremembe mikroklimе (zmanjšanje toplote, izboljšanje kakovosti zraka in toplotnega udobja);
- kompenzacija za pozidane površine;
- zmanjšanje hrupa;
- trajnostno upravljanje deževnice (varovalni učinek med hudimi nalivi);
- upravljanje sive vode (uporaba rahlo onesnažene odpadne vode brez fekalij);
- ustvarjanje dodatnih uporabnih območij (za urbano vrtnarjenje, proizvodnjo hrane);
- obogatitev biotske raznovrstnosti v urbanih prostorih;
- prispevek k doseganju okoljskih ciljev na nacionalni in evropski ravni;
- prispevek k zmanjšanju podnebnih sprememb;
- družbeni vidiki (kakovost življenja, dobro počutje);
- zdravstveni vidiki;
- izobraževalni vidiki;
- povečanje vrednosti zunanega okolja ozelenjene stavbe;
- povečanje vrednosti nepremičnine;
- izolacija ozelenjene stavbe;
- manjše energijske potrebe ozelenjenih stavb;
- promocija podobe ozelenjene stavbe za nepremičninskega investitorja/lastnika ozelenjene stavbe;
- estetska funkcija, mestna krajina in promocija podobe zelenega mesta.

Odgovore smo povzeli za vsako od štirih skupin deležnikov in nato za posamezno mesto ter tako zanje dobili pregled najpomembnejših koristi. Med štirimi skupinami deležnikov nismo ugotovili pomembnih razlik. Kot najpomembnejše koristi je mogoče obravnavati ekološke, estetske in gospodarske koristi za nepremičnino.

Za najpomembnejšo korist je bil izbran učinek vertikalne ozelenitve na mikroklimatske spremembe, ki je bila ocenjena kot najpomembnejša za vse štiri skupine in v vseh treh mestih. Druga najpomembnejša korist ni bila enotna za vse skupine. V Berlinu in Ljubljani je bila izbrana obogatitev biotske raznovrstnosti v urbanih prostorih, sledili pa so ji družbeni vidiki (kakovost življenja in dobro počutje). Na Dunaju so bili za drugo najpomembnejšo korist izbrani družbeni vidiki za tretjo pa obogatitev biotske raznovrstnosti. Sledili so jim promocija podobe zelenega mesta in estetska funkcija, povečanje vrednosti zunanjega okolja ozelenjenih stavb ter promocija podobe ozelenjene stavbe, kar predstavlja gospodarske koristi, ki izhajajo iz okolice in same stavbe.

1.4 Mnenja o ovirah za vertikalne ozelenitve

Zaznane ovire za vertikalne ozelenitve smo raziskali enako kot koristi, in sicer na podlagi ocen deležnikov na petstopenjski Likertovi lestvici. V vprašalniku je bilo navedenih naslednjih 19 ovir:

- pomanjkanje znanja o priložnostih in vplivu vertikalnih ozelenitev v družbi (vključno s pomanjkanjem povpraševanja);
- zelo visoki izvedbeni stroški;
- zelo visoki stroški vzdrževanja;
- nezadostna finančna sredstva;
- zapleten pravni okvir;
- zaradi vertikalne ozelenitve arhitektura ne pride do izraza – izguba identitete stavbe;
- pomisleki glede poškodb fasade (zaradi konstrukcije, rastlin, namakanja);
- pomisleki glede požarne varnosti;
- pomisleki glede higiene (majhne živali, listje);
- pomisleki glede estetskega videza v zimskih mesecih;
- pomisleki glede vandalizma;
- sistemi, ki so na voljo, niso tehnično izpopolnjeni;
- namakanje ni izpopolnjeno;
- premalo znanja o načrtovanju;
- premalo tehničnega znanja;
- ne predstavlja trajnostne gradnje (zaradi uporabljenih materialov);

- pomanjkanje političnega interesa;
- pomanjkanje interesa načrtovalcev;
- pomanjkanje interesa nepremičninskih investitorjev.

Odgovore smo povzeli za vsako od štirih skupin deležnikov in nato za posamezno mesto ter tako zanje dobili pregled najpomembnejših ovir.

Razlaga odgovorov za določene skupine deležnikov kaže naslednje:

- Prebivalcem, občinskim uradnikom, nepremičninskim investitorjem in gradbincem je skupna najpomembnejša zaznana ovira, in sicer pomanjkanje znanja v družbi/pomanjkanje povpraševanja, pri strokovnjakih pa je najbolj zaznana ovira pomanjkanje interesa med nepremičninskimi investitorji, ki ji sledijo pomanjkanje interesa v družbi, visoki stroški vzdrževanja, visoki izvedbeni stroški, nezadostna finančna sredstva in pomanjkanje političnega interesa.
- Prebivalci imajo pomisleke glede pomanjkanja političnega interesa, izvedbenih stroškov, financiranja in poškodb fasade.
- Občinski uradniki imajo pomisleke glede požarne varnosti, stroškov vzdrževanja, slabega tehničnega znanja in zapletenega pravnega okvira.
- Nepremičninski investitorji in gradbena podjetja so omenili stroške (vzdrževanja in izvajanja), pomisleke glede požarne varnosti, izgubo identitete stavbe, estetski videz v zimskih mesecih, tehnično izpopolnjenost sistemov, ki so na voljo, slabo tehnično znanje ter pomanjkanje interesa med nepremičninskimi investitorji in načrtovalci. Odgovori investitorjev so bili v primerjavi z ostalimi skupinami bolj razpršeni.

V Berlinu in na Dunaju je bil najpogosteje naveden odgovor pomanjkanje znanja v družbi in pomanjkanje povpraševanja, v Ljubljani pa pomanjkanje interesa med nepremičninskimi investitorji, sledilo mu je pomanjkanje znanja v družbi ali pomanjkanje povpraševanja. Naslednje ovire so vključevale zelo visoke stroške vzdrževanja (Berlin in Dunaj) in pomisleke glede higiene (majhne živali, listje). Pri deležnikih iz Ljubljane so sledili odgovori pomanjkanje političnega interesa, visoki stroški vzdrževanja in premalo znanja o načrtovanju.

Za deležnike v Berlinu so ključne ovire pomanjkanje interesa med nepremičninskimi investitorji, pomisleki glede tveganja za požarno varnost, pomisleki glede poškodb fasade in omejeno tehnično znanje. Na Dunaju so bili bolj kot pomisleki glede poškodb fasade in pomanjkanja interesa nepremičninskih investitorjev ključna nezadostna finančna sredstva in zapleten pravni okvir.

2 Spodbujanje izvajanja vertikalnih ozelenitev s sodelovanjem deležnikov

2.1 Soustvarjanje v zvezi z oblikovanjem in izvajanjem vertikalne ozelenitve

Soustvarjanje pomeni obliko inovacije s sodelovanjem. Lahko vključuje katero koli dejanje skupinske ustvarjalnosti, ki ga skupaj izkusita dve ali več oseb (Sanders in Simons, 2009), ter proces izmenjave in skupnega izboljšanja zamisli med raznoliki skupinami deležnikov ali sodelujočimi statusnimi skupinami. Soustvarjanje na splošno predstavlja nasprotni proces od pristopa od zgoraj navzdol. Razumeti ga je mogoče tudi kot pristop, usmerjen k strankam na področju trženja in ekonomije, kjer se je koncept prvič pojavil leta 1999 kot *Cluetrain Manifesto*, ki zahteva pogovor med podjetji in ljudmi, ki jih ta oskrbujejo, na svetovni ravni (Levine idr., 1999; Sanders in Simons, 2009). Oblika in vsebina procesa soustvarjanja sta še vedno nedorečeni zlasti zato, ker izvor koncepta ni povezan s »tradicionalnimi ustvarjalnimi področji«, kot so oblikovanje, arhitektura in urbanizem, temveč s poslovno in gospodarsko teorijo in prakso. To velja za celoten proces oblikovanja, in sicer za soustvarjanje znotraj skupnosti, podjetij in organizacij, med podjetji in njihovimi poslovnimi partnerji ter med podjetji in ljudmi, ki jih ta oskrbujejo, kot so stranke, potrošniki, uporabniki ali končni uporabniki (Sanders in Simons, 2009). Van Wingerden in sodelavci (2017) soustvarjanje opredeljujejo kot nov model vodenja, ki vključuje sodelovanje med različnimi člani skupnosti za doseganje skupnega cilja ali namena. Ta opredelitev se bistveno ne razlikuje od sredinskega dela lestvice participacije državljanov (angl. *ladder of citizen participation*), imenovane »navidezna participacija« (angl. *tokenism*), ki vključuje stopnje vključevanja javnosti, kot so obveščanje, posvetovanje in sprava (Arnstein, 1969).

Uporaba pristopa v poslovnem okolju za povečanje gospodarske konkurenčnosti in porabe je nekako v nasprotju z njegovo uporabo na področju urbanističnega načrtovanja in oblikovanja, zlasti na odprtih javnih površinah, kjer je pristop povezan z boljšo kakovostjo življenja, javnim dobrim in pravico do mesta. Pričakuje se, da bo narejen še korak naprej v smeri participativnega načrtovanja in sooblikovanja ter da bo področje sodelovanja razširjeno na celotni proces prostorskega razvoja in upravljanja (Šuklje Erjavac, 2017). Kompleksnost soustvarjanja kot celovitega procesa na področju urbanističnega razvoja je predstavljena v shemi (slika 2.2), razviti posebej za proces razvoja odprtih prostorov, torej tudi za mestne zelene površine (Žlender idr., 2020).



Slika 2.2: Faze soustvarjanja, dejavnosti, naloge akterjev in verjetni rezultati v okviru procesa razvoja odprtega prostora (ilustracija: Bibi Erjavec, prirejeno po: Šuklje Erjavec in Ruchinskaya, 2019 ter Goličnik Marušič in Šuklje Erjavec, 2020)

Ta dvojnost pristopa soustvarjanja se ustrezno odraža v dvojnosti koncepta vertikalnih ozelenitev, zlasti pri obravnavanju sodobnih, tehnično dovršenih živih sten in modularnih sistemov, pri katerih vertikalna ozelenitev ni le element stavbe ali mestnega območja, temveč tudi edinstven produkt, razvit za poslovanje ali pridobivanje investitorjev. Zato bi bilo v primeru sistemov vertikalnih ozelenitev soustvarjanje mogoče uporabiti za izboljšanje izdelka in povečanje njegove gospodarske konkurenčnosti ter v procesu urbanističnega načrtovanja, in sicer od analize in vrednotenja do določanja prednostnih področij in stavb ali ukrepov za izvajanje vertikalnih ozelenitev ter načrtovanja predlogov in sprejemanja odločitev za oblikovanje rešitev na ravni mest ali stavb ter tudi za vzdrževanje vertikalnih ozelenitev.

V okviru projekta smo obravnavali slednji sklop, čeprav so nekateri rezultati, kot so sistemi vzdrževanja robotskega upravljanja in sistemi upravljanja z vodo del inovativnega razvoja izdelkov, kjer pa je bil v ospredju poslovni vidik.

Soustvarjanje poteka tudi kot transdisciplinarni pristop v znanosti, uporabnih vedah in participativnih procesih. S širšega vidika je mogoče tudi skupino sodelujočih znanstvenikov z različnih področij šteti za soustvarjanje. Da bi projekt Vertical Green 2.0 spodbudil soustvarjanje v znanosti, je z vključevanjem strokovnjakov z različnih področij, ključnih za različne vidike vertikalnih ozelenitev, soustvaril inovacije za doseganje preboja (tradicionalnega) koncepta zelenih fasad. Vprašanje soustvarjanja je bilo vključeno že v predlog projekta, saj sta bila modela soustvarjanja in participativnega delovanja logična oblika več projektnih dejavnosti. S transdisciplinarnim pristopom soustvarjanja, usmerjenim k deležnikom, smo želeli ponovno ovrednotiti tradicionalno ozelenjevanje fasad v mestih ter s kombiniranjem inovacij in temeljnih raziskav na področju urbanističnega načrtovanja in oblikovanja, ekohidrologije, strojništva, vodnega inženirstva in ekonomije omogočiti sprejemanje odločitev na podlagi pristopa povezanosti (angl. *nexus approach*) ob upoštevanju skupnih koristi in na naravi temelječih rešitev za mesta prihodnosti.

Raznolikost akterjev, vključenih v soustvarjanje, in odnosi med njimi so ključni za uspeh procesa. Že od začetka projekta je bil naš cilj, da bi na podlagi soustvarjanja z deležniki, povezanimi z vertikalnimi ozelenitvami v zasebnem, javnem in proizvodnem sektorju, opredelili njihove zahteve, dobavne verige, pridobitno in nepridobitno usmerjene poslovne modele ter strukture upravljanja vertikalnih ozelenitev v mestnih odprtih prostorih. Različni deležniki, ki sodelujejo v projektu, vključujejo vse od nosilcev odločanja na občinski ravni do strokovnjakov, nepremičninskih investitorjev, gradbincev, prebivalcev mest in študentov. Različne uporabljene metode ustrezajo različnim skupinam deležnikov; za raziskovanje njihovih mnenj in spreminjanje ovir za izvajanje vertikalnih ozelenitev v izzive za izboljšave in inovacije smo izvedli več ciljno usmerjenih delavnic, intervjujev in anket.

Na podlagi znanja, ki smo ga med projektom pridobili s participativnimi tehnikami, smo ugotovili, da je pridobivanje večje družbene vrednosti z izvajanjem vertikalnih ozelenitev pomemben del vključevanja vseh skupin. Večkrat med projektom je bilo predlagano, da je treba omogočiti dostopnost za vse skupine in uporabiti inovativne načine, s katerimi lahko vsi sodelujemo pri oblikovanju, sajenju, vzdrževanju in izkoriščanju vertikalnih ozelenitev v mestnem okolju. Kot sklep lahko omenimo primer projekta, kot je Garage Grande v okrožju Ottakring na Dunaju (GB, 2021), ki uspešno dokazuje, da je treba za izboljšanje družbenega življenja in vključenosti skupnosti pogosteje sooblikovati mestne odprte prostore z vertikalnimi ozelenitvami.

2.2 Intervjuji in delavnice za občinske uradnike v Ljubljani

Dejavnosti soustvarjanja s skupinami občinskih uradnikov v Ljubljani smo načrtovali v dveh korakih. Najprej smo s predstavniki oddelkov, najpomembnejših za izvajanje vertikalnih ozelenitev, opravili polstrukturirane intervjuje. Informacije, zbrane z intervjuji, smo ovrednotili in jih uporabili kot vhodne podatke za drugi korak – delavnico s širšo skupino občinskih uradnikov in predstavnikov javnih služb.

Januarja in februarja 2019 smo opravili intervjuje s predstavniki oddelkov Mestne uprave Ljubljane o potencialih ozelenjenih fasad. S sedmimi občinskimi uradniki, ki so vodje ključnih oddelkov, večinoma povezanih z izvajanjem vertikalnih ozelenitev, smo opravili ločene intervjuje. Intervjuje je izvajal zunanji strokovni izpraševalec, ki je v strokovnem poročilu zabeležil in povzel odgovore. Vsebina intervjujev je bila polstrukturirana, saj je izpraševalec uporabil vprašalnik, ki smo ga vnaprej pripravili v delovni skupini Urbanističnega inštituta Republike Slovenije. V intervjuju je lahko uporabil podvprašanja in navedel dodatna pojasnila. Vprašanja so bila strukturirana v posamezne sklope o (a) splošnem sprejemanju zelenih sten in odnosu do njih ter prednostih in slabostih zelenih sten, (b) poznavanju prakse vertikalnih ozelenitev v Ljubljani in odnosu do nje ter (c) ključnih deležnikov za izvajanje vertikalnih ozelenitev.

Samo nekaj intervjuvanih posameznikov je imelo neposredne izkušnje s procesom izvajanja zelenih sten. Vsi intervjuvani posamezniki so izrazili navdušenje nad zelenimi stenami in so si želeli raziskati možnost integriranja zelenih sten v urbano tkivo. Zavedajo se njihovih koristi. Tako so na primer omenili zmanjšanje učinka toplotnega otoka v mestih, zmanjšanje števila drobnih delcev oziroma onesnaženja, zadrževanje deževnice in zaščito pred hrupom.

Glavni pomisleki v zvezi z zelenimi stenami, izpostavljeni med intervjuji, so stroški vzdrževanja in videz v zimskih mesecih. Večino pomislekov so predstavljala osebna prepričanja in ne strokovna mnenja. Med izraženimi tveganji v zvezi z zelenimi stenami je bila bojazen, da bi jih nepremičninski investitorji lahko uporabili za pridobitev dovoljenja za povečanje gostote pozidave, saj bi dodajanje zelene stene lahko pomenilo priložnost za zmanjšanje števila odprtih zelenih površin. Urbana območja z veliko gostoto pozidave so bila označena kot najprimernejša za izvedbo zelenih sten. Stavbe v javni lasti so bile opredeljene kot primerne, in sicer zlasti fasade brez oken na nizkih stavbah, kot so proizvodne hale, telovadnice, šole in vrtci zaradi didaktičnih razlogov.

Po intervjujih smo februarja 2019 izvedli delavnico za občinske uradnike v Ljubljani. Cilj te delavnice je bil razpravljati o potencialu zelenih sten in možnosti izvajanja na ravni mesta. Delavnice se je udeležilo 14 predstavnikov osmih različnih občinskih oddelkov in javnih služb Mestne uprave Mestne občine Ljubljana, kar bi lahko imelo pomembno vlogo pri sprejemanju odločitev, načrtovanju, izvajanju in upravljanju vertikalnih ozelenitev v mestu. Delavnica je bila sestavljena iz dveh delov. V prvem delu smo podrobno predstavili potenciale in možnosti izvajanja vertikalnih ozelenitev v mestih. Namen drugega dela je bil preveriti odnos predstavnikov različnih oddelkov in služb mestne uprave do zelenih sten ter jim zagotoviti podporo pri soustvarjanju celovitega procesa izvajanja zelene stene za izbrano vrsto stavbe od začetka in sprejetja odločitve za izvedbo zamišljenega primera. V tem delu smo dobili zanimive vpoglede v izzive načrtovanja in izvajanja zelenih sten, zlasti v primeru, ko mestne službe še nimajo izkušenj s to novo dimenzijo ozelenjevanja. Zato je delavnica vključevala več predstavitev zelenih sten s poudarkom na različnih tipih zelenih sten, njihovih značilnostih in potencialni uporabi. Potekala je tudi razprava o koristih in stroških, ocene pa so temeljile na podatkih, podprtih s primeri. Celovito je bil predstavljen en izveden primer žive stene v Ljubljani.



Slika 2.3: Fotografije z delavnice (fotografije: Damjana Gantar in Karin A. Hoffmann)

V drugem delu delavnice smo udeležence razdelili v tri skupine, vsaki skupini pa smo dodelili naslednje naloge:

- Predstavljajte si pet pobud za zeleno steno in utemeljite vse pobude (utemeljitev).
- Izberite eno od petih pobud (glasovanje ali razprava).
- Razvijajte izbrano pobudo v smislu postopka od pobude do izvedbe in vzdrževanja ter vključite opredelitev korakov upravljanja projektov, odgovornih oseb, financiranja in lokacije.

Izbrani primer je bil analiziran glede koristi in tveganj za pobudnike in na ravni mesta. S skupinsko razpravo je bilo opredeljenih pet koristi, pet pomislov in bojazni ter splošne koristi in tveganja obravnavane zelene stene. Vsaka skupina je izbrani primer obravnavala tako, da je strukturirala proces izvedbe ustrezne zelene stene in opredelila akterje (tj. kdo sprejme odločitev glede zelenih sten na splošno in zadevne zelene stene ter kdo je še pomemben v postopku odločanja, npr. za pridobitev soglasja, vodenje postopka izvedbe zelene steno).

Izbrani so bili naslednji primeri:

- (a) ozelenitev vertikalnih ploskovnih elementov urbane opreme in struktur (ograj na gradbiščih, podpornih zidov);
- (b) prenova izbranih osnovnih šol, vključno z izvedbo zelenih sten v Ljubljani;
- (c) vertikalna ozelenitev stavbe Centra ponovne uporabe.

Na delavnici je bilo izpostavljeno, da je treba več pozornosti nameniti krepitvi zmogljivosti deležnikov, tj. predstavnikov različnih oddelkov mestne uprave. Postopek krepitve zmogljivosti bi vključeval koristi, ovire, vrsto izvedbe in finančne vidike izvedbe. Morebitno sodelovanje različnih oddelkov pri izvedbi zelenih sten je odvisno od posebnih značilnosti konkretnega projekta ali vrste gradbenega in upravnega področja ali dejavnosti. Prav tako je treba več pozornosti nameniti dokumentom in zakonom o prostorskem načrtovanju in gradnji, ki določajo izbiro lokacije in izvedbo zelenih sten.

2.3 Delavnice in intervjuji s strokovnjaki: nosilci odločanja in načrtovalci v Berlinu o ovirah za vertikalne ozelenitve

Na podlagi metodoloških okvirov »Future Workshop« (Muellert in Jungk, 1987) in »Constellation Analyses« (Schoen idr., 2004) sta bili v Berlinu organizirani dve delavnici, ki so jima sledili polstrukturirani intervjuji. Ciljni deležniki so bili razisko-

valci in nosilci odločanja na občinski ravni ter izvajalci, arhitekti in lastniki stavb. Cilj raziskave je bil analizirati ovire za vertikalne ozelenitve na podlagi naslednjega raziskovalnega vprašanja: Kateri vidiki trenutno preprečujejo večjo razširjenost ozelenitve fasad v Nemčiji?

Na podlagi tega so bili pripravljene in obravnavane ukrepi za širše izvajanje vertikalnih ozelenitev. Prvi nabor ovir za izvedbo ozelenitev fasad je bil obravnavan z relevantnimi deležniki na delavnici o prihodnosti (ang. *futures workshop*) septembra 2018. Projektna skupina Tehnične univerze v Berlinu (TUB) je rezultate uporabila za pripravo osnutka analize povezav (Kühle, 2020), ki je bila podlaga za razpravo na delavnici o analizi povezav februarja 2019 (slika 2.4). Po delavnicah z deležniki smo pripravili pisno dokumentacijo, analizo in vizualizacijo rezultatov delavnice, temu pa je sledilo poglobljeno raziskovanje literature. Nato smo po posvetovanju s projektno skupino uredili analizo povezav, kar je obsegalo razpravo o rezultatih ter revidiranje, prerazporeditve, preurejanje in vključitev dodatnih elementov in razmerij med posameznimi elementi.

V naslednjem koraku smo urejeno analizo povezav preverili s šestimi strokovnimi intervjuji. Cilj intervjujev je bil pridobiti vpogled od določenih skupin deležnikov, ki niso sodelovale pri predhodnih delavnicah, da bi tako dobili čim bolj celovito sliko. Analizo povezav smo na koncu predstavili in o njej razpravljali septembra 2020 na spletni konferenci zunanjih deležnikov *Urban Vertical Green 2.0*, ki je bila del dogodka *Green Infrastructure Future Summit* (slika 2.5). V razpravi so sodelovali udeleženci, ki so prispevali stališča in poglede raznolikih akterjev, ki delujejo na tem področju. Med udeleženci so bili predstavniki javnih nepremičninskih investitorjev, podjetij za ozelenitev, okrožnih organov in združenj najemnikov, znanstveniki oziroma raziskovalci z različnih nacionalnih in mednarodnih fakultet, predstavniki raziskovalnih podjetij, občin, interesnih skupin in zveznih uradov, študenti, nepremičninski posredniki in arhitekti.



Slika 2.4: Delavnica o prihodnosti (levo, fotografija: Karin A. Hoffmann) in analiza povezav (desno, fotografija: Lukas Kühle)

Rezultati kažejo, da ovire pri ozelenjevanju fasad vključujejo širok nabor vidikov: od gradbenih praks do družbenih okoliščin in stereotipnih mnenj znotraj skupin akterjev. Pri razpravah na delavnicah so bile opazne tako podobnosti kot razlike, kar je med drugim posledica različnih metodoloških pristopov, saj so udeleženci na delavnici o prihodnosti začeli s temeljnimi razpravami o ovirah in končali s pristopi k širšemu izvajanju, udeleženci delavnice o analizi povezav pa so najprej razpravljali o osnutku analize povezav, na koncu pa so analizo preuredili.

Končni rezultati zagotavljajo celovit pregled dejavnikov, ki preprečujejo večje število izvedenih ozelenitev fasad v Nemčiji in verjetno tudi drugje. Izpostaviti je treba štiri glavne ovire:

- pomanjkanje metod količinske opredelitve koristi;
- pomanjkanje metod analize stroškov in koristi;
- pomanjkanje urejanja in zagotavljanja vzdrževanja;
- pomanjkanje sodelovanja in strokovnega znanja (vključno z zgodnjim vključevanjem strokovnjakov).

Ovire, ki so obravnavane znotraj ustreznih skupin deležnikov, so pravzaprav še vedno enake kot nekatere ovire, omenjene v analizirani literaturi iz zadnjih dveh ali treh desetletij (Kühle, 2020). Poleg ovir za ozelenitev fasad so deležniki na delavnicah in intervjujih razpravljali tudi o ukrepih, ki jih je mogoče uporabiti za povečanje količine izvedenih ozelenitev fasad. Tukaj je treba posebno pozornost posvetiti primerom najboljše prakse, ki zahtevajo tudi preglednost, da so lahko uspešni. Poleg tega so udeleženci navedli, da je treba povečati upravno podporo pri vzdrževanju. Eden od predlogov je, da se ozelenitev fasad vključi v kataster dreves na javnih površinah, s čimer bi se zagotovil dostop do ustreznih informacij in poenostavilo vzdrževanje. Oblikovanje vertikalnih ozelenitev kot javne ekosistemske storitve in uveljavljanje vzdrževanja na podlagi gradbenih dovoljenj lahko zagotovita javno ali zasebno organizirano vzdrževanje. Pomembno je zagotoviti boljše strokovno znanje o rastlinah in sistemih za vzpenjavke, kar se lahko doseže z uvedbo sistemov ocenjevanja in zgodnjim vključevanjem strokovnjakov (Kühle, 2020).

Analiza ovir za vertikalne ozelenitve, o katerih so različne skupine akterjev razpravljale na delavnicah in intervjujih, je bila koristna za zagotavljanje sistematičnega pregleda v celotni gradbeni industriji. Cilj je bil prispevati k širšemu sprejemanju ozelenitev fasad, da bi bilo mogoče izkoristiti njene morebitne družbene, gospodarske in okoljske koristi. Vendar pa je treba izvesti nadaljnje raziskave o ustreznosti ukrepov, saj je mogoče na podlagi predstavljenih rezultatov znotraj tega projekta oblikovati samo priporočila (Kühle, 2020).

3 Zaznavanje zelenih sten

Spodnja raziskava o zaznavanju zelenih sten je del doktorske raziskave na Fakulteti za arhitekturo Univerze v Ljubljani (raziskovalna tematika Vpliv ozelenjenih fasad na zaznavanje urbanih prostorov in mikroklimo: primer Ljubljane; kandidatka Jana Kozamernik). To poglavje vsebuje nadaljevanje predhodno izvedene in objavljene študije, izvedene na Nizozemskem in v Sloveniji leta 2019: Vpliv ozelenjenih fasad na zaznavanje urbanih okolij: primerjava med Slovenijo in Nizozemsko (Kozamernik idr., 2020a). V tem poglavju predstavljamo rezultate razširjene študije in dodajamo tudi analizo rezultatov iz Nemčije.

Vprašanja zaznavanja zelenih sten v urbanem okolju ni mogoče obravnavati ločeno od prostorskega konteksta in stavb oziroma arhitekture. Vertikalne ozelenitve se uporabljajo na različnih vrstah stavb, v različnih prostorskih kontekstih in v različnih oblikah. Vključevanje zelenih prvin v stavbni ovoj je navadno povezano z arhitekturnim in oblikovalskim konceptom posamezne stavbe. Zaradi svojstvenih značilnosti živega materiala (tj. rastlin) je vključevanje zelenih prvin v ovoj stavbe v stalnem kontrastu z grajenimi, neživimi deli oziroma materiali. Sodobna tehnologija, razvoj raznolikih sistemov in uporaba primernih rastlin oblikovalcem omogočajo, da se igrajo z geometrijami, vzorci in teksturami ter tako ustvarijo podobe fasad od raznolikega zaraščanja do homogenih abstraktnih površin ter posledično oblikujejo identiteto stavbe in tudi njene okolice (Kozamernik, 2020).

Vključevanje naravnih prvin v arhitekturo je mogoče preučevati z različnih vidikov in naslavljanjem vprašanj glede tehnologij, gradnje, učinkovitosti stavb, na primer porabe energije in trajnostne rabe virov. Eno od ključnih vprašanj je tudi vključevanje živega materiala v grajene strukture kot vprašanje združevanja kontrastnih entitet v okviru filozofskega diskurza, pa tudi vrednotenje ozelenjevanja stavb kot prispevka k okoljski kakovosti. Slednje je povezano tudi z odnosom javnosti do ozelenjevanja stavb v urbanih okoljih. Odnos javnosti in vrednotenje urbanih odprtih prostorov z zelenimi stenami smo preverjali na Nizozemskem, v Sloveniji in v Nemčiji. V spletno anketo so bili vključeni prikazi prostorskih situacij, anketiranci so izrazili mnenja o prikazih in odgovorili na vprašanja.

3.1 Prostorske značilnosti, zelene prvine in zaznavanje prostora

Pri proučevanju urbanega okolja kot izkušnje mesta oziroma naselja se sociološko-psihološki vidik prepleta z drugimi vidiki, ki vplivajo na zaznavanje prostora in mnenja uporabnikov. Zaznavanje je proces, ki vključuje vsa čutila in je sestavljen iz več faz. Rasmussen (2001) trdi, da je zaznavanje grajenega okolja in arhitekture kompleksen proces ter da je treba prostor izkusiti. Zaznavanje je sestavljeno iz faze prejetja dražljaja, faze obdelave in organiziranja informacij ter faze kognitivnega procesa, ki vključuje interpretacijo in vrednotenje zaznanega. Intermodalno zaznavanje prostora temelji na vseh čutilih, največ informacij pa je pridobljenih prek vidnega zaznavanja. Namen raziskave o zaznavanju je bil obravnavati vizualno komponento oziroma kanal in predstaviti možnosti za raziskave vertikalnih ozele-nitev v okviru drugih raziskovalnih področij.

Pri raziskovanju zelenih sten v različnih urbanih prostorih – na podlagi proučevanja zaznavanja različnih tipov vertikalne ozelenitve in različnih tipov urbanega okolja – se odpirajo tudi vprašanja o odnosu ljudi do zelenih prvin v njihovem bivalnem okolju ter o opredelitvi do sistemov ozelenitev fasad, tako tradicionalnih kot sodobnih oblik. Ker je uporaba različnih tipov ozelenjenih obojev stavb pogojena s podnebnimi razmerami, rezultati raziskav niso splošno prenosljivi v različna mesta. Tako je na primer grška raziskava (Tsantopoulos idr., 2018) pokazala, da je estetski vidik ozelenjevanja stavb v Atenah v zavesti ljudi veliko bolj pomemben in razširjen kot njihov vpliv na izboljšanje mikroklimе in okoljskih parametrov. Z malezijsko raziskavo (Mansor idr., 2017) so ugotovili, da velik del prebivalcev vertikalne ozelenitve dojema kot del ulične umetnosti, zato se jim njihov okoljski učinek ne zdi pomemben (Kozamernik idr., 2020a). Whitova in Gaterslebova (2011) sta proučevali, ali so ozelenjene stavbe z zelenimi strehami in/ali zelenimi stenami bolj cenjene od neozelenjenih, ter ugotovili, da ljudje dajejo prednost ozelenjenim stavbam.

Rezultati ankete med deležniki v projektu Vertical Green 2.0, ki je predstavljena v poglavju 2.1 (*Uporabniki in deležniki, povezani z vertikalnimi ozelenitvami*) in ki je obravnavala izbrana srednjeevropska mesta, kažejo zavedanje o koristnih učinkih. Predvsem so bili izpostavljeni vpliv na mikroklimo, pa tudi biotska raznovrstnost in družbeni vidiki, pri čemer med štirimi različnimi skupinami deležnikov ni bilo bistvenih razlik. Poudarjena je bila pomembnost ekoloških ter estetskih in gospodarskih koristi.

Namen te raziskave je bil z obravnavanjem vizualnega zaznavanja v okviru kvalitativnih meril preučiti odnos do vertikalnih ozelenitev v različnih evropskih državah. Ključna vprašanja, ki jih je raziskava naslovila, so: Ali prisotnost ozelenjenih fasad vpliva na prijetnost ambienta? Ali je pri tem pomembna količina vegetacije in ali imajo ljudje preference do nekaterih vrst sistemov vertikalnih ozelenitev?

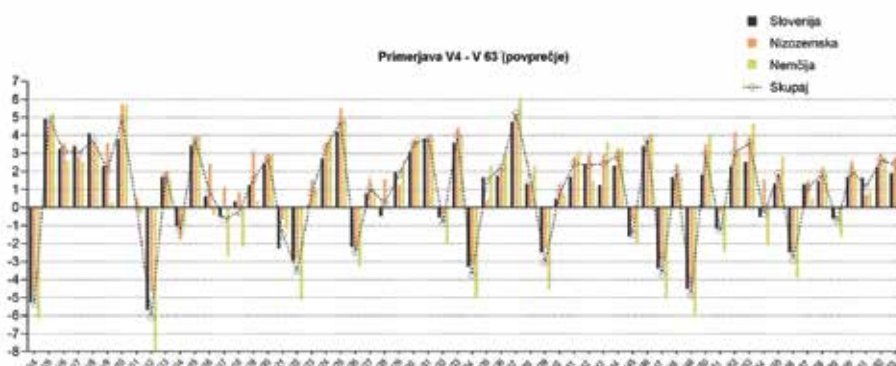
3.2 Anketni vprašalnik in vključevanje vizualnih dražljajev

V okviru raziskave je bila v treh evropskih državah, v Sloveniji, na Nizozemskem in v Nemčiji, izvedena anketa o zelenih stenah v urbanih kontekstih. Uporabljena metoda je podrobno opisana v raziskavi *Vpliv ozelenjenih fasad na zaznavanje urbanih okolij – primerjava med Slovenijo in Nizozemsko* (Kozamernik idr., 2020a). Anketa je vključevala vprašanja, ki se nanašajo na prikaze urbanih situacij – vizualne dražljaje, in vprašanja za pridobitev informacij o socialno-demografskih značilnostih anketirancev. Poleg teh so bila v anketo vključena dodatna vprašanja za razumevanje morebitnega vpliva na preference anketirancev (npr. vprašanja o njihovem bivalnem okolju). Slikovno gradivo je bilo pripravljeno in uporabljeno v vprašalniku kot posamezno predstavljeni dražljaji – ena slika na posamezni strani ankete. Prikazana so bila različna urbana okolja in različne možnosti vertikalne ozelenitve. Vsak odprt prostor je bil prikazan v treh različicah: a) brez ozelenitve sten, b) z delno ozelenitvijo sten in c) z gosto ali polno ozelenitvijo sten. Slike z zelenimi stenami so glede na tipologijo sistemov vertikalnih ozelenitev prikazovale zelene fasade (sistem ozelenitve, kjer vegetacija izrašča iz tal) ali žive stene (sistem ozelenitve, kjer je izražanje vegetacije vezano na steno).

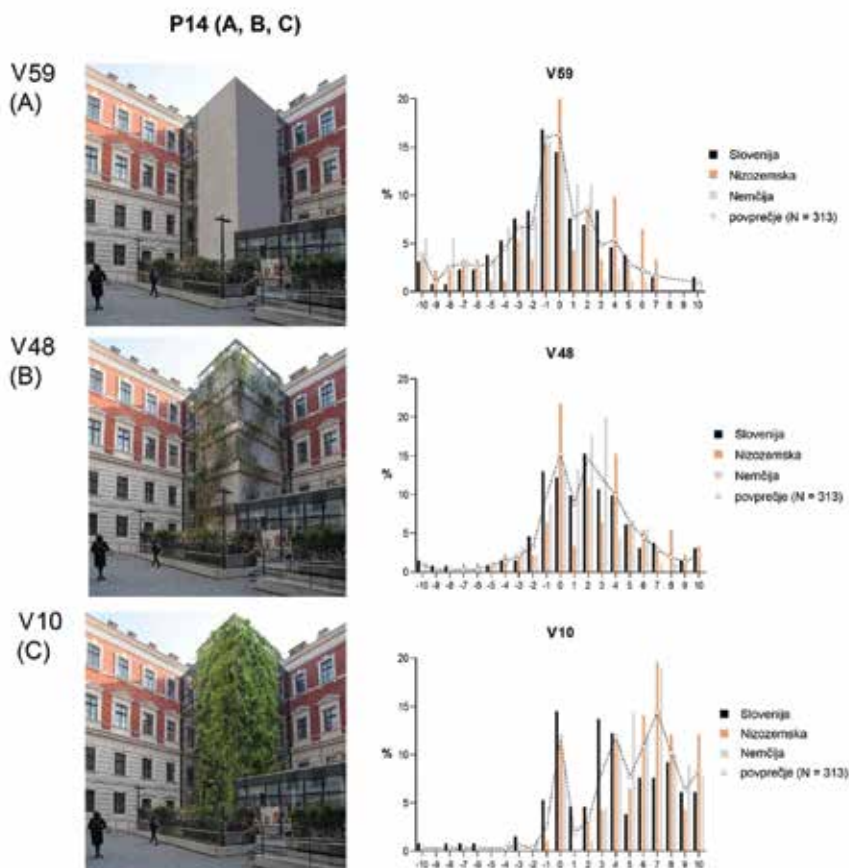
Slike so prikazovale različna urbana okolja, odprte prostore, kot so prehodna območja, na primer ulice in območja za pešce; druga večnamenska območja, na katerih se ljudje zadržujejo in ukvarjajo z različnimi dejavnostmi (npr. trgi in igrišča) ter prostore ob različnih javnih stavbah, stanovanjska območja in nakupovalna središča. Pripravili smo fotografije in njihove simulacije, slike smo obdelali s programom za digitalno obdelavo slik. Pri obdelavi slik pa smo se osredotočili samo na spreminjanje fasad, da bi izključili vpliv drugih dejavnikov na rezultate raziskave (Kozamernik idr., 2020a).

3.3 Analiza odgovorov in rezultati

Izvedli smo statistične izračune in zbrali druge podatke, pridobljene iz izpolnjenih anket, opravljenih v Sloveniji, na Nizozemskem in v Nemčiji. Analizo smo izvajali na podlagi proučevanja predhodno določenih kazalnikov: razmerij med grajenimi



Slika 2.6: Graf, ki predstavlja povprečne ocene posamezne slike po državah (Slovenija, Nizozemska in Nemčija) v raziskavi zaznavanja (avtorica: Jana Kozamernik)



Slika 2.7: Prikazi treh različic (A, B in C) enega od 20 primerov (urbani prostor 14), predstavljeni v raziskavi zaznavanja, in frekvenčne porazdelitve ocen po državah (Slovenija, Nizozemska in Nemčija) (avtorica: Jana Kozamernik)

in zelenimi urbanimi ambientii, tipi sistemov vertikalne ozelenitve in tipi urbanih prostorov. Na anketo je odgovorilo 59,9 % žensk in 40,1 % moških. V vseh treh državah anketiranja so bili vključeni ljudje različnih starostnih skupin, prevladovala je skupina anketirancev delovno aktivnega prebivalstva in mladih.

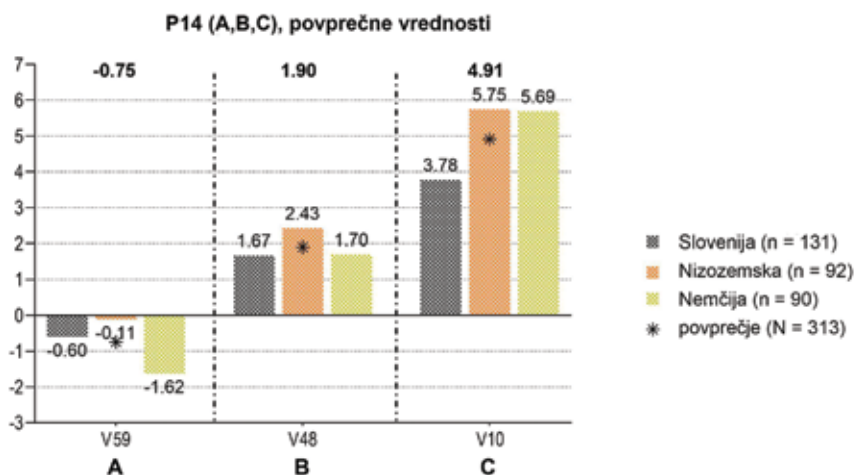
Na podlagi frekvenčnih porazdelitev odgovorov anketirancev o posameznih slikah, ki so bile prikazane v anketi, smo preučili njihove prednostne izbire oziroma preference. Porazdelitve ocen kažejo trend gibanja v negativni ali pozitivni smeri glede na ocenjevalno lestvico. Na podlagi izračuna povprečij smo pridobili oceno posameznega slikovnega prikaza.

Z razvrstitvijo ocen, podanih na slikovne prikaze oziroma vizualne dražljaje od najbolj pozitivno ocenjenih (najbolj privlačnih) do najbolj negativno ocenjenih (neprivlačnih), smo ugotovili, da je devet od desetih najslabše ocenjenih prikazov iz skupine slik brez vertikalnih ozelenitev (skupina A). Glede na tip prostorov so bila to večinoma nakupovalna središča, stanovanjska območja in ulični ambientii. Pregled ocen slik z najvišjimi povprečnimi ocenami kaže, da je večina anketirancev ocenila kot privlačnejše ozelenjene prostore – med desetimi najboljše ocenjenimi slikami so slike iz skupine C (polno ozelenjene stene) in skupine B (delno ozelenjene stene).

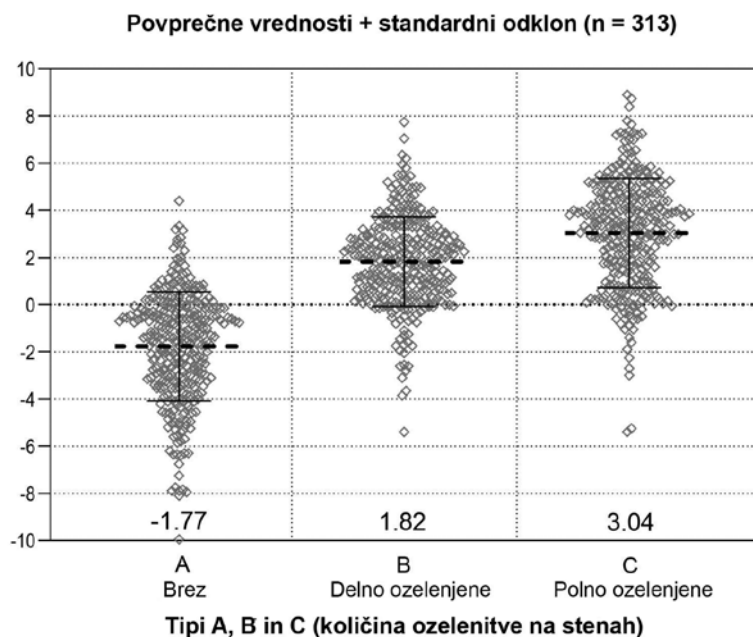
Analiza vseh treh različnih prikazov enega prostora kaže, da so med vsemi 20 prikazanimi prostori slike iz skupine A najnižje, slike iz skupine C pa najvišje ocenjene, pri čemer je razlika med ocenama skupin B in C v nekaterih primerih minimalna. Frekvenčne porazdelitve ocen posamezne slike kažejo razlike med vzorci slovenskih, nizozemskih in nemških anketirancev, vendar pa je trend gibanja ocen podoben v vseh treh državah.

Rezultati kažejo, da količina vegetacije v prostoru vpliva na mnenja anketirancev o teh prostorih. Ob upoštevanju vseh odgovorov v vseh treh državah ($N = 313$) so ocene slik urbanih prostorov brez vertikalne ozelenitve (skupina A) v povprečju za 3,95 točke nižje kot slike z vertikalno ozelenitvijo. V povprečju sta skupini B (delno ozelenjene stene) in C (polno ozelenjene stene) ocenjeni kot privlačnejši.

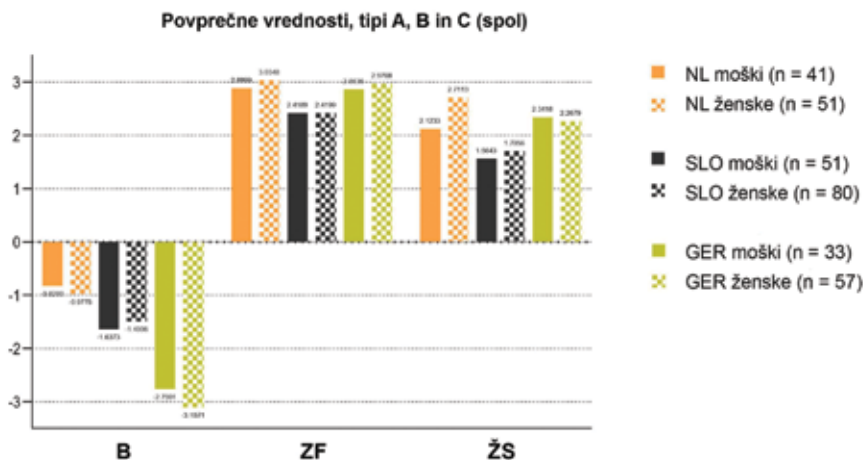
Primerjava slovenskega, nizozemskega in nemškega vzorca kaže, da so slovenski anketiranci prikaze ocenjevali z nižjimi ocenami od nizozemskih anketirancev, nemški anketiranci pa so prikaze ocenjevali z odstopanji, pri čemer so slike iz skupine A običajno nižje ocenjene, slike iz skupine C pa pogosto višje ocenjene kot pri slovenskih in nizozemskih anketirancih.



Slika 2.8: Graf, ki ponazarja vrednosti anketirancev za urbane prostore pri različicah A, B in C, ter porazdelitev ocen po državah (avtorica: Jana Kozamernik)



Slika 2.9: Shema, ki prikazuje vrednosti kategorij sten (A) brez ozelenitve, (B) delno ozelenjenih sten in (C) polno ozelenjenih sten (avtorica: Jana Kozamernik)



Slika 2.10: Graf, ki predstavlja rezultate v zvezi s privlačnostjo tipa vertikalne ozelenitve po spolu in državah (N = 313): povprečne vrednosti sten brez ozelenitve (B), sten z zelenimi fasadami (ZF) in živih sten/zelenih sten (ŽS) (avtorica: Jana Kozamernik)

Ocena privlačnosti tipa vertikalne ozelenitve kaže, da imajo slike, ki prikazujejo ozelenjene fasade (z uporabo vzpenjavk, ki izraščajo iz tal), v povprečju boljše ocene kot slike, ki prikazujejo žive in zelene stene. Čeprav se pri obeh tipih ozelenjenih fasad pojavljajo v povprečju primerljive najvišje povprečne vrednosti, je povprečna ocena za tip zelene fasade za 0,65 točke višja kot za žive stene in kombiniran tip. Ob pregledu ocen slik glede na tip ozelenjene stene (tj. zeleno fasado (ZF) ali živo steno/kombiniran tip (ŽS)) je treba upoštevati nekatere omejitve glede na izbor raziskovalnega materiala in metodološki pristop, saj večina slik prikazuje urbane ambiente, pri katerih so zelene fasade vidne od daleč, ne pa tudi od blizu.

3.4 Razumevanje zaznavanja uporabnikov v zvezi z vertikalnimi ozelenitvami: predsodki, težave in koristi

Pri ocenjevanju različnih ambientov v treh državah (v Sloveniji, na Nizozemskem in v Nemčiji) kažejo rezultati raziskave podobne trende in hkrati nekatere razlike med demografskimi skupinami. Čeprav so anketiranci urbanim ambientom z ozelenitvami, predstavljenimi v tej raziskavi, dali prednost pred urbanimi ambientom brez zelenih sten, je standardni odklon med odgovori velik. Rezultati prav tako kažejo, da je tradicionalni tip vertikalne ozelenitve (tj. zelene fasade, zelene fasade z vzpenjavkami, ki izraščajo iz tal) sistem vertikalne ozelenitve, ki je med anketiranci

bolje sprejet v primerjavi s sodobnimi tipi (tj. živimi stenami/zelenimi stenami s paneli in strukturami, ki so pritrjene na fasade ter ki omogočajo postavitev rastlin in substrata na celotno površino ali vključujejo uporabo sadilnih korit). Analiza je pokazala, da socialno-demografske značilnosti in bivalno okolje vplivajo na preference in zaznavanja anketirancev, saj smo ugotovili zanimivo razliko v ocenah med zaznavanjem prebivalcev v mestnih središčih in tistih, ki živijo v drugih urbanih okoljih. Razlika je opazna med slovenskimi in nizozemskimi anketiranci, ki živijo v mestnih središčih. Slovenski anketiranci so vse skupine slik ocenili z nižjimi ocenami kot nizozemski, najizrazitejša razlika pa je pri ocenah prikazov z vertikalnimi ozelenitvami (Kozamernik idr., 2020a). Ti rezultati prvega dela raziskave so vodili k proučevanju ne le potrebe po zelenih rešitvah, temveč tudi odnosa do njihove pojavnosti v različnih urbanih okoljih oziroma njihovo sprejemanje v različnih prostorih. Kljub temu je treba te sisteme vrednotiti z vseh vidikov arhitekturnega oblikovanja ter si prizadevati za to, da so vzdrževani in s tem tudi v funkciji. Ne glede na to, kateri sistem je uporabljen, je treba v fazi projektiranja načrtovati tudi vzdrževanje, saj imajo lahko samo dobro vzdrževane zelene stene želeni pozitivni učinek na grajeno okolje in stavbo.

Ker zaznavanje vključuje ne le prejemanje dražljaja in obdelavo informacij, temveč tudi kognitivno dožemanje – interpretacijo in vrednotenje (Rasmussen, 2001) –, se raziskava posveča tudi vprašanju o mnenju javnosti v teh treh državah. Udeležence iz Slovenije, Nizozemske in Nemčije smo prosili, naj opredelijo koristi in slabosti ozelenjevanja fasad. Izpostavljeni koristi, ki sta prejeli najvišje ocene, sta izboljšanje vizualne privlačnosti in videza stavb. Anketiranci so hkrati težko sprejeli, da zelene stene izboljšajo energetske učinkovitost stavb (poleti), ter niso smiselno opredelili povezave med privlačnostjo in drugimi koristmi, na primer vplivi na vrednost nepremičnin (Kozamernik idr., 2020b).

Pri izražanju mnenj o morebitnih težavah, predsodkih in slabostih zelenih sten na stavbah so anketiranci z najvišjimi povprečnimi ocenami izpostavili pomanjkanje vzdrževanja, težave z odgovornostjo za upravljanje, stroške vzdrževanja in upravljanja ter stroške izvedbe. Med povprečnimi vrednostmi so bile najpogostejše izpostavljene nevarnosti, ki izhajajo iz fizičnih značilnosti vertikalne ozelenitve, na primer zadrževanje vlage na stenah, žuželke, potencialne poškodbe fasade, prisotnost majhnih živali in alergenov ter smetenje, na primer odpadanje listja. Kot manjše težave pa so anketiranci navedli izgubo identitete stavbe, vandalizem, požarno varnost in zanemarjen videz objekta čez vse leto.

4 Stališča deležnikov o prihodnosti vertikalnih ozelenitev – zaključki

V raziskavo o vidikih deležnikov smo vključili širok spekter ljudi, od tistih, ki so osebno ali poklicno povezani z vertikalnimi ozelenitvami, do splošne javnosti, ki morda sploh ni zainteresirana za vertikalne ozelenitve, ampak nanjo vpliva kakovost bivalnega okolja, vključno z zelenimi prostori v določenem delu mesta ali ulice. Zaradi raznolikosti deležnikov smo uporabili različne metode, da bi zajeli njihova zaznavanja. Uporabili smo različne vrste vprašalnikov, intervjujev in delavnic ter jih prilagodili znanju in lastnostim posamezne skupine. Vprašalniki za štiri skupine deležnikov so bili usmerjeni v specifično znanje in izkušnje strokovnih deležnikov in prebivalcev kot končnih uporabnikov. Vprašalniki o zaznavanju so bili usmerjeni v specifična stališča – vizualne preference v zvezi z vertikalnimi ozelenitvami. Z intervjuji z občinskimi uradniki (v Ljubljani) in strokovnjaki (v Berlinu) smo pridobili dragocene in poglobljene informacije ljudi iz ključnih oddelkov in poklicev, z delavnicami pa smo naredili korak v smeri posploševanja rezultatov posameznikov ter njihovega približevanja skupnim oblikam in vsebinam.

Na podlagi odzivov, ki so spremljali odgovore, in iz samih odgovorov smo ugotovili, da večina ljudi vprašanje vertikalnih ozelenitev jemlje precej osebno ter ima pomisleke, ki zanje še zdaleč niso nepomembni, v primeru, ko načrtujejo ali si predstavljajo, da bi imeli zeleno fasado. Odgovore glede koristi in ovir, potencialnih težav, negativnih mitov, vključno z različnimi bojaznimi, smo zbirali v več ločenih raziskavah, v nadaljevanju pa povzemamo vse rezultate.

Glavni pomisleki so visoki stroški izvedbe in vzdrževanja stavb z vertikalnimi ozelenitvami. Pomisleki, ki izražajo bolj osebno mnenje, se nanašajo na estetski videz (videz v zimskih mesecih, zakrivanje zanimive arhitekture ali stavbne dediščine), bojazni pa vključujejo tudi poškodbe stavbe, žuželke in škodljivce ter vprašanja protipožarne zaščite in varnosti, po drugi strani pa anketiranci menijo, da vertikalne ozelenitve izboljšajo biotsko raznovrstnost, stanje zelenih površin in podnebne razmere. Ker smo informacije o koristih in ovirah zbrali pri različnih skupinah in z različnimi metodami, ni mogoče izračunati največkrat izraženih ali prevladujočih odgovorov. Pri pregledu odgovorov o ovirah smo ugotovili pomisleke v zvezi z višjimi stroški, vzdrževanjem, odgovornostjo, higieno in estetskim videzom.

Navedene koristi je mogoče razvrstiti kot ekološke (zmanjšanje učinka toplotnega otoka v mestih, zmanjšanje onesnaženja zraka, zmanjšanje hrupa, zadrževanje deževnice, večja okoljska ozaveščenost), družbene (kakovost življenja, učenje,



Slika 2.11: Koristi in ovire, ki so jih izrazili deležniki (ilustracija: Bibi Erjavec)

urbana proizvodnja hrane, druženje, deljenje odgovornosti), estetske (boljši pogled, izboljššan videz stavbe, več zelenih površin ali samo vtis zelenega) in gospodarske (povečanje vrednosti zunanjega okolja ozelenjene stavbe in promocija ozelenjene stavbe).

Strokovni deležniki (strokovnjaki, nepremičninski investitorji in gradbinci) priznavajo, da je pomembno načrtovati in izvesti več vertikalnih ozelenitev ter da je treba za spodbujanje vertikalnih ozelenitev zagotoviti zakonska določila in financiranje. Bolj razširjeno izvajanje ozelenitev fasad trenutno ovirajo pomanjkanje predpisov in zagotavljanje vzdrževanja, pomanjkanje udeležbe in strokovnega znanja ter pomanjkanje analiz stroškov in koristi in metod za določanje koristi.

Rezultati projekta, podprti s predhodnimi ugotovitvami in izkušnjami, določajo okvir za izboljšanje izvajanja sistemov vertikalnih ozelenitev predvsem na prednostnih lokacijah glede na izražene potrebe in probleme v mestnih območjih. Pri tem je ključno, da se pri dejavnostih soustvarjanja in participativnih dejavnostih s podporo strokovnega znanja obravnavajo vsi pomisleki različnih skupin deležnikov.

VIRI IN LITERATURA

Arnstein, S. R. (1969): A Ladder of citizen participation. *JAI/P*, 4(35), str. 216–224.

Cambridge University (2021): *Cambridge dictionary*. Dostopno na: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/stakeholder> (sneto 15.10.2021).

GB (2021): *Gutes Klima auf allen Ebenen; Garage Grande*. Dostopno na: <https://www.gbster.at/themen-projekte/garage-grande/gutes-klima-auf-allen-ebenen/> (sneto 18. 10. 2021).

Goličnik Marušić, B., Šuklje Erjavec, I. (2020): Understanding co-creation within the public open space development process. V: Smaniotto Costa, C. (ur.): *Co-creation of public open places: practice - reflection - learning*, Series Culture & Territory, str. 25–37. Lisboa, Edições Universitárias Lusófonas.

Kozamernik, J., Rakuša, M., in Nikšič, M. (2020): How green facades affect the perception of urban ambiances: Comparing Slovenia and the Netherlands. *Urbani izziv*, 31(2), str. 88–100. DOI: 10.5379/urbani-izziv-en-2020-31-02-003

Kozamernik, J. (2020): *Green walls: shaping urban communication*. Comparison: conference for artistic and architectural research: book of proceedings of the CA2RE online conference, 28th–30th October 2020, str. 155–163. Milano, Politecnico di Milano.

Kühle, L. (2020): An analysis of obstacles and elaboration of measures for an integrative implementation of façade greening in German cities: Stakeholder workshop evaluation and constellation analysis. Magistrsko delo. Berlin, Technische Universität Berlin.

Levine, R., Locke, C., Searls, D., in Weinberger, D. (1999): The Cluetrain Manifesto and the end of business as usual. Dosegljivo na: <https://www.cluetrain.com/> (sneto 18. 10. 2021).

Mansor, M., Zakariya, K., Harun, N. Z., in Abu Bakar, N. I. (2017): Appreciation of vertical greenery in a city as public. *Planning Malaysia Journal*, 15(1), str. 117–128. DOI: 10.21837/pmjournal.v15.i6.227

Muellert, N., in Jungk, R. (1987): *Future workshops: how to create desirable futures*. London, Institute for Social Inventions.

Rasmussen, S. E. (2001): *Experiencing architecture*. Cambridge, MA, The MIT Press.

Sanders, L., in Simons, G. (2009): *A social vision for value co-creation in design*. Dostopno na: <https://timreview.ca/article/310> (sneto 13. 11. 2021).

Schoen S., Noelting, B., in Meister, M. (2004): *Konstellationsanalyse. Ein interdisziplinäres Brückenkonzept für die Technik-, Nachhaltigkeits- und Innovationsforschung*, Discussion paper Nr. 12/04. Berlin, TU Berlin, Zentrum Technik und Gesellschaft.

Šuklje Erjavec, I. (2017): Understanding urban public open space and co-creation. V: Smaniotto Costa, C., in Ioannidis, K. (ur.): *The making of the mediated public space - Essays on emerging urban phenomena (CyberParks)*, str. 97–107. Lisboa, Lusófona University Press.

Šuklje Erjavec, I., Ruchinskaya, T. (2019): A spotlight of co-creation and inclusiveness of public open spaces. V: Smaniotto Costa, C., Šuklje Erjavec, I. (ur.): *Cyberparks: the interface between people, places and technology: new approaches and perspectives*. Lecture notes in computer science, 11380, (LNCS Sublibrary: SL3 - Information Systems and Applications, incl. Internet/ Web, and HCI), str. 209–223. Berlin, Springer.

Tsantopoulos, G., Varras, G., Chiotelli, E., Fotia, K., in Batou, M. (2018): Public perceptions and attitudes toward green infrastructure on buildings: The case of the metropolitan area of Athens, Greece. *Urban Forestry and Urban Greening*, 34(June), str. 181–195.
DOI: 10.1016/j.ufug.2018.06.017

Van Wingerden C., Stan Goto S., in Burstein, M. (2017): *Creating sustainable communities: Adult and leadership theories and principles in practice*. *Encyclopaedia of strategic leadership and management*. Dostopno na: <https://www.igi-global.com/chapter/creating-sustainable-communities/173515> (sneto: 13. 11. 2021).

White, E. V., in Gatersleben, B. (2011): Greenery on residential buildings: Does it affect preferences and perceptions of beauty? *Journal of Environmental Psychology*, 31(1), str. 89–98.
DOI: 10.1016/j.jenvp.2010.11.002

Žlender, V., Šuklje Erjavec, I., in Goličnik Marušić, B. (2020): Digitally supported co-creation within public open space development process: experiences from the C3Places Project and potential for future urban practice. *Planning practice + research*, 35(5), str. 1–21.
DOI: 10.1080/02697459.2020.1829286



OBLIKOVANJE IN VZDRŽEVANJE SISTEMOV VERTIKALNIH OZELENITEV

Irene Zluwa^a, Ulrike Pitha^a, Bernhard Pucher^b, Sandra Breu^b,
Sebastian Schröder^c, Chung-Kee Yeh^d

^a Inštitut za bioinženiring tal in krajinsko gradnjo, Univerza za naravne
vire in življenjske vede (BOKU), Dunaj, Avstrija

^b Inštitut za sanitarni inženiring in nadzor onesnaževanja vode, Univerza
za naravne vire in življenjske vede (BOKU), Dunaj, Avstrija

^c Oddelek za konstrukcijo strojnih sistemov, Inštitut za konstrukcijo
strojev in tehnologijo sistemov, Tehnična univerza v Berlinu (TUB),
Berlin, Nemčija

^d Oddelek za bioindustrijski mehatronski inženiring, Tajvanska državna
univerza, Taichung, Tajvan

3. del Oblikovanje in vzdrževanje sistemov vertikalnih ozelenitev

1	Sistemi vertikalnih ozelenitev	69
	<i>Irene Zluwa, Ulrike Pitha</i>	
1.1	Zelene fasade z rastlinami, ki izraščajo iz tal	70
1.2	Žive stene s sistemom sadilnih posod	72
1.3	Žive stene	74
2	Splošni vidiki načrtovanja in vzdrževanja sistemov vertikalnih ozelenitev	76
	<i>Irene Zluwa, Ulrike Pitha</i>	
3	Namakanje sistemov vertikalnih ozelenitev	78
	<i>Bernhard Pucher, Irene Zluwa, Sandra Brev</i>	
3.1	Vodni viri za namakanje sistemov vertikalnih ozelenitev	78
3.2	Različice samodejnega namakanja	80
3.3	Smernice za vključevanje zbiranja deževnice v namakalne sisteme za sisteme vertikalnih ozelenitev	82
4	Razvoj sistema vertikalne ozelenitve z uporabo različnih virov vode	94
	<i>Irene Zluwa, Bernhard Pucher</i>	
5	Potencial za izvedbo sistemov vertikalnih ozelenitev na Dunaju, v Ljubljani in Berlinu	100
	<i>Irene Zluwa, Ulrike Pitha, Jana Kozamernik</i>	
6	Prvi koraki v smeri robotskih rešitev pri vzdrževanju sistemov vertikalnih ozelenitev	104
	<i>Sebastian Schröder, Chung-Kee Yeh</i>	
6.1	Kabelsko krmiljeni viseči robot	107
6.2	Robot na tirnicah: samodejni transportni sistem za vertikalne zelene stene	111
6.3	Orodja za vzdrževanje vertikalnih ozelenitev	114
6.4	Informacijska tehnologija za vzdrževanje sistemov vertikalnih ozelenitev	116
	Viri in literatura	119

Tretji del knjige je namenjen predstavitvi oblikovanja in vzdrževanja sistemov vertikalnih ozelenitev. V **poglavju 1** so predstavljene različne oblike sistemov vertikalnih ozelenitev, rastline in materiali, uporabljeni pri teh sistemih, splošni vidiki načrtovanja ter potrebni ukrepi v zvezi z vzdrževanjem. V **poglavju 2** so predstavljeni tipi stavb, na katerih je mogoče uporabiti sisteme vertikalnih ozelenitev. V **poglavju 3** so podrobneje obravnavane specifične teme v zvezi z namakanjem: vodni viri za sisteme vertikalnih ozelenitev, samodejno namakanje in izračun velikosti zbiralnikov za uporabo deževnice. V **poglavju 4** je predstavljen oblikovalski pristop, ki omogoča večnamensko uporabo vode, razvit in uporabljen v okviru projekta. V **poglavju 5** so raziskani potenciali za izvedbo sistemov vertikalnih ozelenitev. V **poglavju 6** je predstavljen razvoj kabelsko krmiljenega robota, ki lahko uporablja različna orodja za vzdrževanje velikih sistemov vertikalnih ozelenitev. Poleg tega so opisana orodja za obrezovanje rastlin, sistem za menjavo sadilnih posod in postopki programske opreme.

1 Sistemi vertikalnih ozelenitev

V idealnem naravnem habitatu rastline rastejo neposredno v tleh, kjer imajo korenine dovolj prostora, da se razrastejo in razvijejo ustrezen koreninski sistem za optimalno oskrbo rastlin z vodo in hranili. Kadar rastline rastejo na fasadi stavbe, to negativno vpliva na rastline z omejitvami več dejavnikov (tal, vode, svetlobe in hranil). Te omejene dejavnike je treba potrebam rastlin prilagoditi z ustreznim oblikovanjem in vzdrževanjem.

Glede na obliko, konstrukcijo in vrsto rastlin sisteme vertikalnih ozelenitev razvrstimo v tri kategorije:

- zelene fasade z rastlinami, ki izraščajo iz tal (angl. *ground-based green façades*),
- žive stene (angl. *wall-based green façades*) in
- žive stene s sistemom uporabe sadilnih posod (angl. *pot-based green façades*).

1.1 Zelene fasade z rastlinami, ki izraščajo iz tal

Zelena fasada z rastlinami, ki izraščajo iz tal, je stena, ki je popolnoma ali delno prekrita z zelenjem. Vzpenjavke so posajene v tla (v zemljo oziroma vegetacijske substrate) ali v zabojnike (napolnjene z zemljo) in rastejo neposredno na steni ali se vzpenjajo ob oporah (npr. okvir, žice), ki so pritrjene na steno (Langergraber idr., 2021). Takšna zelena fasada je najbolj razširjen tip sistema vertikalnih ozelenitev z najnižjimi stroški izvedbe in vzdrževanja. Čeprav umetno namakanje in gnojenje nista nujno potrebna, bosta prispevala k izboljšanju rasti in vitalnosti rastlin.



Slika 3.1: Zelena fasada z vzpenjavkami, ki izraščajo iz tal in ne potrebujejo opore (fotografija: Irene Zluwa)



Slika 3.2: Zelena fasada z vzpenjavkami, ki izraščajo iz tal in potrebujejo oporo (fotografija: Irene Zluwa)

Slika 3.3: Zelena fasada s špalirno vegetacijo (fotografija: Irene Zluwa)



Preglednica 3.1: Različice zelenih fasad z rastlinami, ki izraščajo iz tal

Tipi sistemov vertikalnih ozelenitev	Primeri vrst rastlin	Najvišja višina (m)	Rastni substrat rastlin	Gradbeni materiali	Vzdrževanje	Stroški					
1 Zelene fasade z vzpenjavkami, ki izraščajo iz tal in ne potrebujejo opore	navadni bršljan (<i>Hedera helix</i>),	25–30	Zemlja, vegetacijski substrat ali mešanica obojega	/	Obrezovanje vej, če dosežejo okna, streho ali sisteme za odvajanje vode	Postavitev: 0,4 €/m² (Pfoser, 2016)–50 €/m² (BMK, 2020)					
	divja trta (<i>Parthenocissus tricuspidata</i>),	15–30									
	navadna vinika (<i>Parthenocissus quinquefolia</i>),	10–15									
	plezava hortenzija (<i>Hydrangea petiolaris</i>)	10–15									
2 Zelene fasade z rastlinami, ki izraščajo iz tal in potrebujejo oporo	Vzpenjavke z viticami:		Zemlja, vegetacijski substrat ali mešanica obojega	Material: kovina, konoplja, les (plastika, steklena vlakna) Vzpenjavke z viticami: potrebujejo mrežo ali mrežasto konstrukcijo. Vrtnice popenjavke in plezalke: potrebujejo vodotrdno konstrukcijo, na katero se lahko naslonijo. Ovijalke: potrebujejo navpične konstrukcije s premerom 4–50 mm. Če je nosilna konstrukcija mreža, mora biti raster najmanj 10 cm (FLL, 2018). * Rastline z veliko sekundarno debelino oz. rastjo potrebujejo trdne kovinske konstrukcije (25–50 mm).	Obrezovanje vej, če dosežejo okna, streho ali sisteme za odvajanje vode Usmerjanje vej ob opori	Postavitev: 100–500 €/m² (GSG, 2020) Vzdrževanje: 10–15 €/m²/leto (Pfoser, 2016)					
	navadni srobot (<i>Clematis vitalba</i>),	12–14									
	vinska trta (<i>Vitis vinifera</i>),	8–10									
	vednozelen vzpenjava robida (<i>Rubus henryi</i>),	2–5									
	zimski jasmín (<i>Jasminum nudiflorum</i>)	3–5									
	Vrtnice popenjavke in plezalke:										
	vrtnica (<i>Rosa sp.</i>)	2–6									
	Ovijalke:										
	kitajska glicinija (<i>Wisteria cinensis</i>),*	8–30									
	grmasti slakovec (<i>Fallopia baldschuanica</i>),	8–15									
	davilec ali popenjava trdopleska (<i>Celastrus sp.</i>),*	12–14									
	kivi (<i>Actinidia sp.</i>),	8–10									
	velelistni podrašček (<i>Aristolochia macrophylla</i>),	8–10									
	japonska glicinija (<i>Wisteria floribunda</i>),	8–10									
	kosteničevje (<i>Lonicera sp.</i>)	6–8									
	3 Zelene fasade s špalirno vegetacijo	Prvotno je bila zasnovana za sadna drevesa (npr. navadna jablana (<i>Malus domestica</i>), hruška (<i>Pyrus sp.</i>), šmarna hrušica (<i>Aemilanchier lamarkii</i>)), vendar pa se lahko uporablja tudi za druge vrste (Köhler idr., 1993; Dunnett in Kingsbury, 2010).					2–10	Zemlja, vegetacijski substrat ali mešanica obojega	Najpogostejše lesena opora kot pomoč pri usmerjanju vej.	Obrezovanje in usmerjanje vej zahteva posebno znanje	

Vzpenjavke, ki ne potrebujejo opore, so rastline, ki se lahko vzpenjajo neposredno po steni s pomočjo zračnih korenin (npr. navadni bršljan (*Hedera helix*)) ali pogankov (npr. divja trta (*Parthenocissus tricuspidata*)). Vzpenjavke, ki ne potrebujejo opore in rastejo neposredno iz tal (v zemlji ali vegetacijskem substratu), lahko dosežejo največjo višino 25 m. Nemogoče jih je predhodno vzgojiti do končne velikosti, zato traja več let, da prekrijejo celotno fasado. Vzdrževati jih je treba le, če veje dosežejo okna, streho ali sisteme za odvajanje vode. Ta sistem vertikalne ozeleinitve zahteva najmanj stroškov postavitve in vzdrževanja. Rastline, ki potrebujejo oporo, so razvrščene glede na način vzpenjanja (ovijalke, vzpenjavke ali plezalke). Opora (vrv, mreža ali trdna konstrukcija) je najpogostejše izdelana iz kovine. Špalirna drevesa so drevesa, obrezana v posebno obliko, kjer so veje usmerjene ob fasadi stavbe. Opora je najpogostejše izdelana iz lesa in nima nosilne funkcije, temveč je potrebna le za usmerjanje rasti rastlin. Vzdrževanje zajema obrezovanje in usmerjanje vej, to opravilo pa je zahtevnejše pri špalirnih drevesih. Stroški postavitve se lahko razlikujejo glede na velikost rastlin, nanje pa vplivata zlasti oblika in material opore.

1.2 Žive stene s sistemom sadilnih posod

Živa stena s sistemom uporabe sadilnih posod vključuje uporabo lončkov ali sadilnih korit, napolnjenih z umetnim (vegetacijskim) substratom brez zemlje, z zemljo ali mešanico obeh. Postaviti jih je mogoče na tla ali neposredno na stavbe ali balkone. Uporabiti jih je mogoče s skoraj vsemi vrstami rastlin, na primer z vzpenjavkami, drevesi in/ali grmi (Langergraber idr., 2021). Namakanje in gnojenje sta nujna, prav tako pa je treba opravljati redne preglede učinkovitosti sistemov (npr. namakanja, pritrditve).



Slika 3.4: Sadilne posode in korita na balkonih (fotografija: Irene Zluwa)



Slika 3.5: Živa stena s sistemom uporabe sadilnih posod na nosilni konstrukciji z oporo (levo, fotografija: Irene Zluwa)



Slika 3.6: Živa stena s sistemom uporabe sadilnih posod, ki je neposredno pritrjena na fasado (desno, fotografija: Irene Zluwa)

Izvedba balkonov je pogosta rešitev za zagotavljanje boljšega dostopa do sistemov vertikalnih ozelenitev zaradi potrebnega vzdrževanja, namakanja in nadzora. Sadilne posode so lahko vgrajene v konstrukcijo ali postavljene na balkon. Za ta tip sistema vertikalne ozelenitve je mogoče uporabiti širok nabor rastlin; kombinacija z vzpenjavkami ali manjšimi drevesi omogoča največjo ozelenitev in za prebivalce stavbe ustvarja odprti bivalni prostor. Stroški in vzdrževalna dela se bistveno razlikujejo glede na vrsto rastlin in dejstvo, ali vzdrževanje izvajajo prebivalci ali zunanji strokovnjaki. Odvisno od velikosti, teže sadilnih posod in tipa (oziroma statičnega stanja) fasade je mogoče živo steno s sistemom uporabe sadilnih posod pritrčiti neposredno na fasado (ali podkonstrukcijo) ali pa je potrebna nosilna konstrukcija, ki prenese obremenitev direktno na tla. Večinoma se za vzpenjavke uporabijo velike sadilne posode, v manjših posodah pa so posajeni majhni grmi, enoletnice ali trave. Na balkonih je lahko namakanje in gnojenje ročno ali samodejno, za žive stene s sistemom uporabe sadilnih posod (preglednici 3.2 in 3.3) pa je potrebno samodejno namakanje. Gnojenje je mogoče avtomatizirati z dodajanjem tekočega gnojila v vodo za namakanje ali z uporabo gnojila z nadzorovanim sproščanjem med vzdrževanjem. Poleg tega je treba rastline vsaj spomladi obrezati, odstraniti neželene vrste in nadomestiti odmrle rastline. Stroški postavitve (in vzdrževanja) so precej višji v primerjavi s stroški zelenih fasad z rastlinami, ki izraščajo iz tal.

Preglednica 3.2: Različice živih sten s sistemom uporabe sadilnih posod

Tipi sistemov vertikalnih ozelenitev	Vrste rastlin	Rastni substrat rastlin	Gradbeni materiali	Največja višina (m)	Vzdrževanje	Stroški
1 Sadilni lončki ali posode na balkonu	Na balkonih so pogosto posajeni pritlikavi iglavci (npr. ruševje »Mops« (<i>Pinus mugo</i> »Mops«), bela stožčasta smreka (<i>Picea glauca</i>)) ali mediteranske male grmovnice, kot je sivka (<i>Lavandula angustifolia</i>) ali rožmarin (<i>Salvia Rosmarinus</i>) Vse druge vrste enoletnic in trajnic, vzpenjavk, manjših grmovnic in dreves, primernih za rast v posodah	Vegetacijski substrat v slojih: – sloj rastnega substrata – sloj za odvajanje/shranjevanje vode	Material za sadilne lončke: beton, kovina, les ali plastika Opora: glejte preglednico 3.1, 2	Skupna višina stavbe	Za vzpenjavke, vzpenjavke z oporo in špalirna drevesa glejte preglednico 3.1. Obrezovanje in rezanje enoletnic in trajnic	110 €/m ² Postavitev ozelenitve: 10 €/m ² –250 €/m ²
2 Žive stene s sistemom uporabe sadilnih posod na nosilni konstrukciji z oporo ali brez	Enoletnice in trajnice, trave, grmi, vzpenjavke in manjše grmovnice	Vegetacijski substrat v slojih: – sloj rastnega substrata – sloj za odvajanje/shranjevanje vode	Material za sadilne lončke: beton, kovina, les ali plastika Opora: glejte preglednico 3.1, 2	Skupna višina stavbe	Za vzpenjavke, vzpenjavke z oporo in špalirna drevesa glejte preglednico 3.1. Obrezovanje in rezanje enoletnic in trajnic	Postavitev: 250–1.000 €/m ² Vzdrževanje: 25 €/m ² na vzdrževanje
3 Žive stene s sistemom uporabe sadilnih posod, ki so neposredno pritrjene na fasado	Majhni grmi, enoletnice in trajnice, trave Najbolj obstojne trajnice za sisteme vertikalnih ozelenitev so: homulice (<i>Sedum</i>), korenikasta krvomočnica (<i>Geranium macrorrhizum</i>), srčastolistna bergenija (<i>Bergenia cordifolia</i>) in iskrivka (<i>Heuchera sp.</i>)	Vegetacijski substrat Odvisno od izdelka se uporabi en ali več slojev	Kovina ali plastika	Skupna višina stavbe	Rezanje in nadomeščanje rastlin (enkrat do šestkrat na leto, odvisno od zelenega videza in oblikovalskega koncepta)	Postavitev: 250–1.500 €/m ² (BMK, 2020). Vzdrževanje: 10–70 €/m ² na vzdrževanje

1.3 Žive stene

Živa stena (ali zelena stena) je sestavljena iz panelov in tehničnih struktur (3D-okvirjev, napolnjenih z vegetacijskim substratom), v katere so posejane ali zasajene rastline. Ti paneli in strukture so pritrjeni na fasade ali stene, lahko pa so zasnovani kot samostojni sistemi ter omogočajo postavitve rastlin in substratov na celotno površino. Nekateri sistemi omogočajo odstranjevanje panelov pozimi (Langergraber idr., 2021). Namakanje in gnojenje sta nujna, prav tako pa je treba opravljati redne preglede učinkovitosti.

Preglednica 3.3: Različice živih sten

Tipi sistemov vertikalnih ozelenitev	Vrste rastlin	Rastni substrat rastlin	Gradbeni materiali	Največja višina (m)	Vzdrževanje	Stroški
1 Modularna živa stena	Majhni grmi, enoletnice in trajnice, trave	Vegetacijski substrat ali mineralna volna, geotekstil	Folija, geotekstil, kovina, plastika	Skupna višina stavbe	Rezanje in nadomeščanje rastlin (enkrat do šestkrat na leto, odvisno od zelenega videza in oblikovalskega koncepta)	Postavitev: 500–1.500 €/m ² (BMK, 2020) Vzdrževanje: 10–70 €/m ² na vzdrževanje
2 Neprekinjena živa stena	Majhni grmi, enoletnice in trajnice, trave	Zemlja ali vegetacijski rastni substrat ali mešanica obojega	Material za folijo, geotekstil, kovina, plastika	Skupna višina stavbe	Rezanje in nadomeščanje rastlin (enkrat do šestkrat na leto, odvisno od videza in oblikovalskega koncepta)	Postavitev: 500–1.500 €/m ² (BMK, 2020). Vzdrževanje: 10–70 €/m ² na vzdrževanje

Za razliko od sistemov, opisanih v prejšnjih razdelkih (preglednici 3.1 in 3.2), je pri živih stenah rastni substrat nameščen vzporedno s fasado, kar povzroči težave pri upravljanju vode. Žive stene so izvedene v moduli, postavljenih drug poleg drugega, ali kot neprekinjeni sloj. Ti sistemi so po navadi sestavljeni iz geotekstila, napolnjenega z mineralno volno ali vegetacijskim substratom, in pritrjeni na okvirju. Sloji so tanjši kot pri drugih sistemih ter zahtevajo stalno namakanje in gnojenje zaradi pomanjkanja prostora za razvoj korenin. Paneli so lahko predhodno posejani ali zasajeni, modularne žive stene pa so najpogosteje zasajene že pred montažo. Med vzdrževanjem se rastline obrežejo, odmrle rastline pa se enkrat ali večkrat na leto nadomestijo z novimi.



Slika 3.7: Modularna živa stena (fotografija: Irene Zluwa)



Slika 3.8: Neprekinjena živa stena (fotografija: Irene Zluwa)

2 Splošni vidiki načrtovanja in vzdrževanja sistemov vertikalnih ozelenitev

Za izvedbo vertikalnih ozelenitev morajo strokovnjaki opredeliti priporočila glede oblikovanja za tipe sistemov vertikalnih ozelenitev, in sicer ob upoštevanju lokalnih razmer (npr. podnebnih razmer in izpostavljenosti fasade) ter ustreznega tipa glede na lokacijo in stavbo. V preglednici 3.4 je prikazan kontrolni seznam z merili, ki jih je treba upoštevati pred izvedbo.

Preglednica 3.4: Kontrolni seznam za lokacijo (vir: Sekaran, 2015)

Predmet analize	Potrebne informacije
Podnebni dejavniki	Najvišja in najnižja temperatura na lokaciji
	Količina in porazdelitev padavin na lokaciji skozi vse leto
	Spreminjanje sončnega obsevanja, sence in vetra na lokaciji skozi leto
	Potencialni učinek višine stavbe na nekatere podnebne dejavnike
Bližnja okolica	Ocena priložnosti ali tveganj izvedbe ozelenitve na stavbi: tveganje požara, vdor plevela ali škodljivcev, sprememba biotske raznovrstnosti
Obremenitev	Nosilnost
	Ocenjena prehodna obremenitev, zlasti sile vetra
Namakanje	Možnosti zbiranja in shranjevanja vode ter možnosti oskrbe z vodo za namakanje in skupne umestitve shranjene vode z drugimi sistemi sive vode v stavbi
Konstrukcija in velikost zelene stene	Velikost uporabne površine stene
	Razpoložljiv prostor za rast rastlin od pritličja navzgor
	Morebitni nakloni ali koti sten
	Kakovost materialov obstoječih sten

V proces načrtovanja je treba vključiti tudi dodatne vidike: preprečiti rast rastlin v režah fasade, da ne bi prišlo do poškodb delov stavbe. Razdalja med sistemom vertikalne ozelenitve in fasado mora biti ustrezno izbrana glede na obliko rasti rastline. Žive stene morajo imeti zračno režo med sistemom vertikalne ozelenitve in fasado stavbe zaradi prezračevanja. Treba je upoštevati učinke materiala na spremembe temperature.

Med postopkom načrtovanja je treba vedno upoštevati predvsem vzdrževanje. Najpomembnejša vprašanja, ki vplivajo na oblikovanje sistemov vertikalnih ozelenitev, so:

- Kakšna je dostopnost sistema? Kako se zagotavljata namakanje in gnojenje?
- Kako pogosto bo potekalo vzdrževanje sistema in kdo ga bo izvajal?

Vzdrževalna dela in stroški vzdrževanja sistemov vertikalnih ozelenitev so odvisni od višine (dostopnost) in tipa sistema (razpoložljiv prostor za korenine in vrsta rastlin). Možnosti in omejitve glede dostopnosti sistemov vertikalnih ozelenitev so navedene v preglednici 3.5:

Preglednica 3.5: Možnosti in omejitve glede dostopnosti sistemov vertikalnih ozelenitev

Višina	Orodje	Možnosti in omejitve
< 1,80 m	Neposredni dostop	Preprosto vzdrževanje in lahek nadzor
< 7 m	Lestve, gradbeni odri	Treba je postaviti gradbeni oder in lestev
< 100 m	Dvižna košara	Zahteva dostop do fasade/prostor za postavitev
> višine stavbe	Industrijski plezalci	Brez omejitev glede višine, pritrdilna točka za vrv mora biti na stavbi
< višine stavbe	Vzdrževalna dvigala, mostovi ali balkoni, ki so del stavbe	Brez omejitev glede višine, vendar jih je treba upoštevati v postopku načrtovanja stavbe
< višine stavbe	Avtomatizirana rešitev	Orodja na tirnicah, roboti ali droni

Dostop do sistemov vertikalnih ozelenitev z lestvami, dvižnimi košarami in industrijskimi plezalci ter pripomočki za vzdrževanje, ki so del stavbe (npr. vzdrževalna dvigala ali mostovi), predstavljajo običajne metode vzdrževanja sistemov vertikalnih ozelenitev, medtem ko se avtomatizirane rešitve (z roboti ali droni) trenutno še razvijajo. Prvi koraki za samodejno vzdrževanje z robotskimi sistemi so opisani v poglavju 3.6.

3 Namakanje sistemov vertikalnih ozelenitev

3.1 Vodni viri za namakanje sistemov vertikalnih ozelenitev

Ustrezno namakanje in gnojenje sta ključna dejavnika za zagotavljanje zdravih in trpežnih sistemov vertikalnih ozelenitev. Zelene fasade z vzpenjalkami, ki izraščajo iz tal, omogočajo lažje upravljanje kot žive stene ali žive stene s sistemom uporabe sadilnih posod. Sistemi, ki so povezani s tlemi, omogočajo neposredno uporabo deževnice in lahko preživijo brez umetnega namakanja. Večina živih sten ali živih sten s sistemom uporabe sadilnih posod zahteva posebne sisteme namakanja, ki jih je treba ustrezno načrtovati. To poglavje ne vključuje splošnih razprav o oskrbi sistemov vertikalnih ozelenitev z vodo, temveč obravnava naslednje specifične teme:

- Katere vodne vire je mogoče uporabiti za namakanje sistemov vertikalnih ozelenitev?
- Kakšne so možnosti za samodejno upravljanje namakanja?
- Kako je mogoče izračunati potrebno velikost zbiralnikov za ponovno uporabo deževnice?

Za namakanje sistemov vertikalnih ozelenitev se najpogosteje uporablja vodovodna voda. Drugi viri obsegajo podzemno ali površinsko vodo (iz rek, jezer in ribnikov). Za ohranjanje virov pitne vode je mogoče uporabiti deževnico ali prečiščeno sivo vodo kot alternativo (preglednica 3.6) za namakanje.

Preglednica 3.6: Potencialni vodni viri za namakanje sistemov vertikalnih ozelenitev

Vir vode	Opis
Vodovodna voda	Pitna voda
Podzemna voda	Neposredna oskrba iz podtalnice z uporabo vrtine in črpalke
Površinska voda	Črpanje vode za namakanje iz bližnje površinske vode (npr. reke ali ribnika)
Deževnica	Padavinska voda, zbrana iz neprepustnih ali prepustnih površin (npr. zelenih) streh, teras, poti in cest)
Očiščena odpadna voda	Ponovna uporaba očiščene vode iz različnih virov (npr. odpadne vode ali sive vode); pogoji za ponovno uporabo so opredeljeni v smernicah in predpisih o ponovni uporabi



Slika 3.9: Shematski prikaz komponent za namakanje sistemov vertikalnih ozelenitev (ilustracija: Bibi Erjavec)

Na sliki 3.9 je prikazana shema sestavnih delov trajnostnega vodnega kroga v hiši. Deževnica s strehe se zbira v zbiralniku. Poleg tega se siva voda iz različnih virov, kot so prha, pralni stroj, kuhinjsko korito in pomivalni stroj, po čiščenju zbira v zbiralniku, tako da so izpolnjene zakonske zahteve v zvezi s ponovno uporabo vode, kot je predstavljeno v preglednici 3.7. Zbiralnik je treba očistiti enkrat na deset let. Da se zbiralnik zaščiti pred zmrzovanjem, ga je mogoče pozimi izprazniti, postaviti v notranje prostore na tla, ki ne zmrzujejo; ga izolirati ali ogrevati. Pri sistemih za skladiščenje (deževnice ali očiščene odpadne vode) je lahko koristna dodatna oskrba z vodo, kadar je količina zbrane vode nezadostna. Pomembno je preprečiti možnost povratnega toka v cev z vodovodno vodo (»Systemtrenner B3A« ali sistem s prostim padcem). Vodo iz tega zbiralnika je mogoče uporabiti za splakovanje stranišč, namakanje vrta ali namakanje sistema vertikalne ozelenitve. Nadzorna plošča za namakanje (glejte preglednico 3.8) mora biti zlahka dostopna.

Smernice EU, Avstrije in Nemčije o ponovni uporabi razpoložljive vode so navedene v preglednici 3.7. Glavni parameter za preverjanje so patogeni, saj neposredno vplivajo na zdravje ljudi. Mejne vrednosti so odvisne od vrste uporabe (npr. namakanje z razprševanjem, kapljično namakanje ali podzemno namakanje). Splošno priporočilo je, da se po čiščenju odpadne ali sive vode uvede faza dezinfekcije, da se tako zmanjšajo tveganja, povezana z neposrednim stikom (DWA-M 277). Druga

parametra za preverjanje sta količina skupne suspendirane snovi (TSS) in motnost. Ta dva parametra lahko vplivata na sistem namakanja tako, da povečata mašenje.

Preglednica 3.7: Smernice in predpisi o ponovni uporabi vode, ki se osredotočajo na prakse ponovne uporabe vode za namakanje v mestih

		Evropa		Avstrija		Nemčija
		Uredba 2020/741/EU		ÖNORM EN 16941-2		DWA-M 277
Parameter	Enota	Užitne rastline, neposredni stik	Semenske rastline	Namakanje z razprševanjem	Namakanje vrta	Javna in zasebna območja
KPK	(mg.L ⁻¹)	125				
BPK ₅	(mg.L ⁻¹)	≤ 10	25			
TN	(mg.L ⁻¹)					
TSS	(mg.L ⁻¹)	≤ 10	35			
Motnost	(NTU)	≤ 5		< 10; za dezinfekcijo < 1		< 2
Anionske površinsko aktivne snovi	(mg.L ⁻¹)					
DO	(mg.L ⁻¹)			> 1		
Nasičenost O ₂	(%)					> 50 %
pH	(-)			5-9,5		6,5-9,5
EC	(μs.cm ⁻¹)					
E.Coli	(cfu.100mL ⁻¹)	≤ 10	≤ 10000	0	250	≤ 1000
Enterokoki	(cfu.100mL ⁻¹)			0	100	
Legionela	(cfu.100mL ⁻¹)	< 1000		10		

3.2 Različice samodejnega namakanja

Ustrezno namakanje sistemov vertikalne ozelenitve je bistveno za njihovo funkcionalnost. Različni tipi in oblike sistemov vertikalnih ozelenitev potrebujejo različne količine vode. Različne potrebe po vodi za tri glavne tipe vertikalnih ozelenitev (zelene stene z rastlinami, ki izraščajo iz tal, žive stene in žive stene s sistemom uporabe sadilnih posod) so navedene v preglednici v delu 4. Potreba po vodi je močno odvisna od količine rastnega substrata in njegove sposobnosti zadrževanja vode. Možnosti naprav za upravljanje namakanja so predstavljene v preglednici 3.8. Kljub natančnosti upravljanja namakanja lahko ostane odvečna voda, ki jo je treba odvesti v kanalizacijski sistem, območje infiltracije ali sistem recikliranja za nadaljnje namakanje.

Preglednica 3.8: Razpoložljive naprave za upravljanje namakanja

Naprava	Časovni okvir	Vodni krogi	Opis
Mehanski časovnik	15 min	1	Po izpadu napajanja ga je treba ponovno nastaviti; ročna sezonska prilagoditev je primerna le za nizekotehnološke sisteme, ki potrebujejo črpalko
Digitalni časovnik	1 min	1	Samo za nizekotehnološke, zasebne sisteme, ki potrebujejo črpalko
Računalniki za namakanje	1 min	1 ali več	Prilagoditev različnim letnim časom je treba opraviti ročno; nekatere naprave je mogoče upravljati z aplikacijo za pametni telefon; zunanje upravljanje je mogoče le z dostopom do interneta
Računalniki z dodatnimi senzorji	1 min.	1 ali več	– Senzor za zmrzal: samodejni izklop namakanja pri temperaturah pod 5 °C (2 °C) – Senzor za dež: samodejni izklop namakanja ob dežju – Temperatura: zmanjšanje ali povečanje namakanja pri določenih temperaturah – Senzor za vlažnost tal: ustavi namakanje, če je substrat prevlažen – Vremenska napoved: ob napovedanih padavinah ni namakanja
Sistemi na osnovi senzorjev		Najmanj en senzor na krog	Uravnavanje namakanja na podlagi: – senzorjev za vlažnost tal: senzor mora biti postavljen v korenine rastlin in pod cevmi. Senzor mora biti umerjen za določen substrat. Obstaja velika verjetnost napak. Namestitev mora biti opravljena pazljivo in preizkušena – Plovec (sistem priliva in odliva): plovec vklopi in izklopi namakanje; sistem pozimi ne deluje

Mehanski časovnik je nizekotehnološka rešitev, primerna samo za zasebne sisteme, ki potrebujejo črpalko. Časovnik deluje vsak dan v 15-minutnih intervalih. Po izpadu napajanja ga je treba ponovno nastaviti. Za izpolnjevanje potreb po vodi v različnih letnih časih je treba vnesti spremembe ročno. Digitalni časovniki so nekoliko bolj prilagodljivi; imajo medpomnilnik za shranjevanje nastavitvev v primeru izpada napajanja in omogočajo do 20 časov zagona (v 1-minutnih intervalih). Priporočeni so samo za nizekotehnološke, zasebne sisteme, ki potrebujejo črpalko.

Računalniki za namakanje so na voljo v različnih oblikah, od nizko- do visokotehnoloških možnosti, in lahko regulirajo enega ali več magnetnih ventilov (za

različne kroge namakanja) in različne čase zagona. Nekatere računalnike je mogoče nastaviti tako, da poleti zagotavljajo več vode. Poleg časovno določenega upravljanja namakanja so na voljo senzorji, ki ob aktiviranju preglasijo nastavitve. Senzor za zmrzal izklopi namakanje pri temperaturah zraka 2 °C–5 °C, da prepreči zmrzovanje cevi. Senzor za dež izklopi namakanje ob dežju. Senzorji za vlažnost tal lahko ustavijo namakanje, če je substrat prevlažen. Računalniki, povezani z vremensko postajo, lahko zmanjšajo ali povečajo namakanje glede na veter, temperaturo zraka in padavine, nekateri računalniki pa lahko vključujejo celo vremenske napovedi. Sistemi na osnovi senzorjev uravnavajo namakanje s podatki, pridobljenimi iz senzorjev vlažnosti tal. Trenutno so na trgu različne vrste senzorjev, vendar je razvoj tehnologije šele v začetni fazi. Zlasti pri vegetacijskih substratih so bile zaznane težave pri merjenju količine vode v rastnem substratu.

Nizkotehnoški senzor se uporablja za upravljanje namakanja pri sistemu s plovcem, ki mehansko vklopi in izklopi namakanje. Lahko se pojavijo težave z zatikanjem plovca, prav tako pa ta rešitev ne deluje pozimi, ko voda zmrzne. Nekatere računalnike je mogoče upravljati in pregledovati prek aplikacij za pametne telefone, vendar je v tem primeru potrebna internetna povezava.

Vodomer (analogni ali digitalni) se priporoča kot kontrolna naprava za merjenje količine vode, uporabljene za namakanje sistemov vertikalnih ozelenitev. Če je pretok vode stalen, to pomeni, da je cev počila, če pa ni pretoka vode, ko bi sistem moral namakati površine, to pomeni, da je prišlo do težave z oskrbo z vodo. Digitalne vodomere je mogoče povezati z računalnikom, da se sproži alarm, če je pretok vode previsok ali prenizek. Pri opazovanju rastline in neposrednem preverjanju sistema nobena tehnična naprava ne more nadomestiti človeškega nadzora.

3.3 Smernice za vključevanje zbiranja deževnice v namakalne sisteme za sisteme vertikalnih ozelenitev

Uporaba deževnice za namakanje sistemov vertikalne ozelenitve se v literaturi pogosto omenja kot trajnostna alternativa uporabi pitne vode iz vodovoda, vendar je treba temeljito preučiti praktične podrobnosti takih sistemov (npr. območja odtekanja, kakovost in tehnično zasnovo) (Prenner idr., 2021). Za obravnavanje te vrzeli v znanju je predstavljen konceptualni model, ki zagotavlja podroben opis vključenih procesov in vplivnih dejavnikov. Podrobnosti konceptualnega modela so opisane v 4. delu (hrana–voda–energija).

Za ustrezno oblikovanje sistema za zbiranje deževnice za namakanje sistemov vertikalnih ozelenitev je treba med več moduli najprej ustvariti cilj (preglednica 3.9). Vsak modul je mogoče izračunati posebej, vendar so moduli odvisni drug od drugega. Izračuni za območje zbiranja deževnice ter za shranjevanje vode in rezervno oskrbo z vodo temeljijo na standardu ÖNORM EN 1641-1 (2018).

Preglednica 3.9: Opis modulov za izračun

Izkoristek zbiranja deževnice in velikost zbiralnika	Cevi (gravitacijski pretok)	Cevi (tlačni pretok)	Črpalke
Izračuna se izkoristek, ki pomeni količino vode, ki jo je mogoče zbrati na določenem območju, in določi se velikost zbiralnika. Oboje temelji na enačbah, uporabljenih v standardu ÖNORM EN 16941-1 (2018)	Cevi, po katerih voda teče samo zaradi gravitacijskih sil Za določanje premera cevi se uporablja enačba, ki sta jo uvedla Wylie in Eaton	Cevi, po katerih voda teče zaradi naklonov, na primer takih, ki jih ustvarjajo črpalke Izračun premera temelji na enačbah, ki so jih uporabljali Prandtl in Colebrook ter Darcy in Weisbach	Za premagovanje neenakosti v višini so potrebne črpalke Izračuni kažejo, katere črpalke so ustrezne za različne situacije, navedenih pa je nekaj primerov

3.3.1 Izkoristek zbiranja deževnice in velikost zbiralnika

Za izračun izkoristka zbiranja deževnice in velikosti zbiralnika se uporabljajo različna izhodišča:

- Znano območje zbiranja deževnice in znano območje sistema vertikalne ozelenitve.
- Znano območje zbiranja deževnice in neznano območje sistema vertikalne ozelenitve.

Te smernice na podlagi standarda ÖNORM EN 16941-1 (2018) ponujajo dve možnosti izračuna izhodišča (a), in sicer osnovni in podrobni pristop. Izbira je odvisna zlasti od razpoložljivosti podatkov. Smernice ponujajo še eno metodo izračuna za izhodišče (b). V preglednici 3.10 so predstavljeni potrebni podatki za vsak pristop za izračun.

Preglednica 3.10: Podatkovne zahteve za pristope za izračun

	Osnovni pristop za znano velikost sistema vertikalne ozelenitve	Podrobni pristop za znano velikost sistema vertikalne ozelenitve	Pristop za neznano velikost sistema vertikalne ozelenitve
Izhodišče	a	b	b
	Parametri, potrebni za izračun:		
Skupna količina padavin	Na leto	Vsaj na mesec, vendar se priporoča nižja ločljivost	Na leto
Potreba po vodi za sistem vertikalne ozelenitve	Na leto	Enaka ločljivost kot pri skupni količini padavin	Na leto
Trajanje suhega obdobja	da	–	da
Največja potreba po nepitni vodi na dan	da	–	da
Velikost enega panela	–	–	da
Največja razpoložljiva površina stene	–	–	da
Območje vertikalne ozelenitve enega panela	–	–	da

Osnovni pristop za znano velikost sistema vertikalne ozelenitve:

Izkoristek območja zbiranja deževnice in potreba po vodi na območju sistema vertikalne ozelenitve se izračunata posebej, kar pomeni, da ju mora uporabnik primerjati. Uporabnik se mora nato odločiti, ali je območje zbiranja deževnice dovolj veliko. Če ni, je treba izbrati večje ali dodatno območje zbiranja deževnice.

Podrobni pristop za znano velikost sistema vertikalne ozelenitve:

Izkoristek območja zbiranja deževnice in potreba po vodi na območju sistema vertikalne ozelenitve sta bila pri izračunu medsebojno povezana.

Pristop za neznano velikost sistema vertikalne ozelenitve

Območje zbiranja deževnice je ključno za določanje velikosti sistema vertikalne ozelenitve.

Na spodnjih slikah so prikazane razlike med osnovnim in podrobnim pristopom. Na sliki 3.10 je predstavljen vzorec padavin, uporabljen za izračune. Skupna

količina padavin je enaka pri obeh pristopih, mesečni vzorci pa so predstavljeni samo pri podrobnem pristopu. Kot je prikazano na sliki 3.11, se dejanska mesečna potreba po vodi sistema vertikalne ozelenitve razlikuje glede na letni čas. Ta razlika ni prikazana pri osnovnem pristopu.

3.3.2 Izdatnost zbiranja deževnice

Izdatnost zbiranja deževnice smo za vse pristope izračunali z enako enačbo, in sicer:

Y_r = \sum A_i x h_i x e_i x \eta_i

A	Površina strehe ali tal	(m²)
t	Časovni korak	(dni)
h	Skupna količina padavin na časovni korak	(l)
e	Koeficient površinskega izkoristka	(-)
η	Koeficient hidravlične obdelave	(-)
Yr	Izdatnost deževnice na časovni korak	(l/d)

Koeficient površinskega izkoristka *e* se spreminja glede na material in kot površine. V preglednici 3.11 je navedena vrednost, ki jo je treba uporabiti. Koeficient hidravlične obdelave *η* opisuje razmerje med odtokom iz čistilne naprave in dotokom v čistilno napravo.

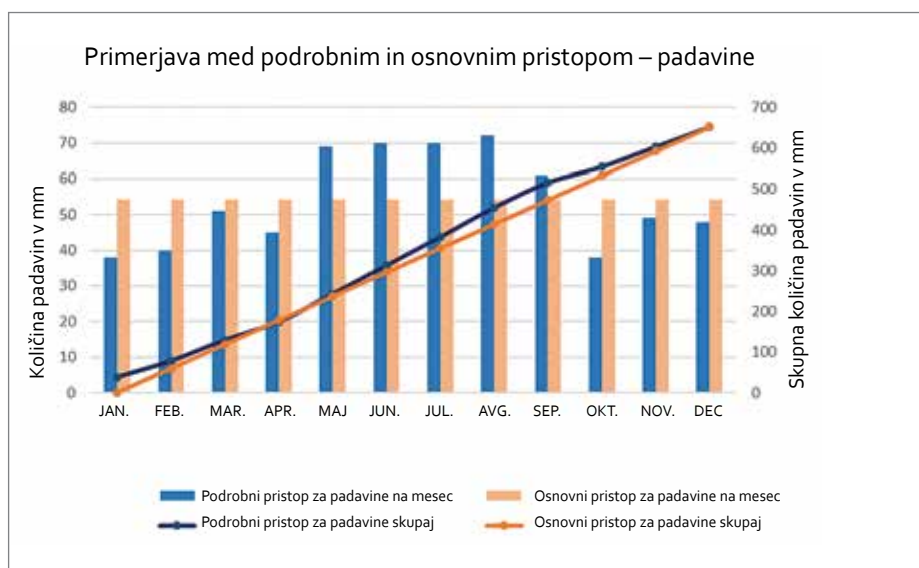
Preglednica 3.11: Koeficienti površinskega izkoristka površine glede na material zbiralne površine (na podlagi standarda ÖNORM EN 16941-1, 2018)

Zbiralna površina	Koeficient površinskega izkoristka <i>e</i> (-)
Streha z gladko površino, poševna	0,9
Streha z grobo površino, poševna	0,8
Ravna streha	0,7–0,8
Zelena streha	0,3–0,5
Neprepustne površine	0,8
Prepustne površine	0,5

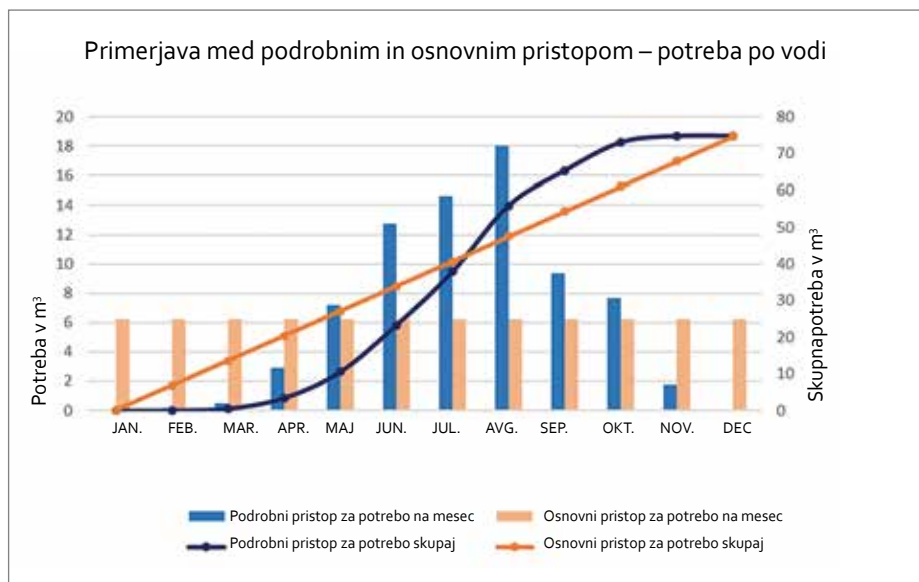
3.3.3 Velikost zbiralnika

Potreba po vodi na (navpični) kvadratni meter na dan (Dd) sistemov vertikalne ozelenitve temelji na evapotranspiraciji in vodni bilanci ali, če podatka nista na voljo, na opredeljeni količini namakanja. Potreba po vodi je določena glede na 1 m²

navpične površine in dan. Območje vertikalne ozelenitve se šteje za podobno vertikalni površini sistema vertikalne ozelenitve. Suho obdobje (dd) opisuje povprečno največje število suhih dni, ki jih mora zbiralnik vzdržati do naslednjih morebitnih padavin (ÖNORM EN 16941-1, 2018). Ta vrednost je odvisna od lokalnih padavin in jo je treba posamično preveriti.



Slika 3.10: Primerjava med podrobnim in osnovnim pristopom glede vzorca padavin na primeru Dunaja (avtorica: Sandra Breu)



Slika 3.11: Primerjava med podrobnim in osnovnim pristopom glede vzorca potrebe po vodi sistemov vertikalnih ozelenitev na primeru Dunaja (avtorica: Sandra Breu)

a) Količinska opredelitev potrebe po vodi: osnovni pristop za znano velikost sistema vertikalne ozelenitve

Enačbe za izračun potrebe po vodi in velikosti zbiralnika z uporabo osnovnega pristopa

$$D_{p,d} = D_p \times VGA$$

D_p	potreba po vodi sistema vertikalne ozelenitve na m^2 in dan ($l/m^2/dan$)	
VGA	območje vertikalne ozelenitve sistema vertikalne ozelenitve	(m^2)
$D_{p,d}$	potreba po vodi sistema vertikalne ozelenitve na dan	(l/d)

V naslednjem koraku se določi skupna dnevna potreba po vodi.

$$D_{N,d} = D_{p,d} \times ((D_{f,d} - D_{p,d}) \times s)$$

pri čemer je

$D_{p,d}$	potreba po vodi sistema vertikalne ozelenitve na dan	(l/d)
$D_{f,d}$	največja potreba po vodi sistema vertikalne ozelenitve na dan	(l/d)
s	količnik skladiščenja	(-)
$D_{N,d}$	skupna potreba po vodi sistema vertikalne ozelenitve na dan	(l/d)

Na koncu se določijo dimenzije zbiralnika.

$$V = D_{N,d} \times d_d$$

pri čemer je

$D_{N,d}$	skupna potreba po vodi sistema vertikalne ozelenitve na dan	(l/d)
d_d	trajanje suhega obdobja	(d)
V	prostornina zbiralnika	(l)

Po končanem izračunu se izdatnost deževnice na izbranem območju zbiranja deževnice primerja s potrebo po vodi sistema vertikalne ozelenitve.

- Prevelika razlika: izbere se lahko manjše območje zbiranja deževnice, namakati je mogoče večji sistem vertikalne ozelenitve ali pa je treba zasnovati sistem za velike količine prelivne vode.
- Negativna razlika: za popolno namakanje sistema vertikalne ozelenitve z deževnico je potrebno večje ali dodatno območje zbiranja deževnice. Preučiti je mogoče tudi možnost rezervne oskrbe z vodo. Lahko pa se preprosto izbere manjši sistem vertikalne ozelenitve.

b) Količinska opredelitev potrebe po vodi: podrobni pristop za znano velikost sistema vertikalne ozelenitve

Za podrobni pristop je mogoče pripraviti različne scenarije z uporabo različnih prostornin zbiralnika in/ali različnih območij zbiranja deževnice. V tem primeru je

rezultat nastala prelivna voda in potrebna rezervna voda. To pomeni, da vse enačbe ne zagotavljajo optimalne prostornine zbiralnika, vendar pa lahko sami izberete optimalno rešitev za rezervno vodo, prelivno vodo in velikost zbiralnika.

Pri tem pristopu so zahtevane naslednje enačbe:

$$S_{r,m} = \min \left\{ \frac{D_{p,m}}{V_{r(m-1)}} \right\}$$

pri čemer je

$D_{p,m}$	potreba po vodi za sistem vertikalne ozelenitve (trenutni mesec)	(l)
$V_{r(m-1)}$	prostornina deževnice v zbiralniku (ob koncu zadnjega meseca)	(l)
$S_{r,m}$	odvzem vode iz zbiralnika	(l)

Določanje prostornine vode ob koncu meseca:

$$V_{r,m} = \min \left\{ \frac{V_{r(m-1)} + Y_{r,m} - D_{p,m} + B}{V} \right\}$$

pri čemer je

$V_{r(m-1)}$	prostornina deževnice v zbiralniku (ob koncu zadnjega meseca)	(l)
$Y_{r,m}$	izdatnost deževnice (trenutni mesec)	(l)
$D_{p,m}$	potreba po vodi za sistem vertikalne ozelenitve (trenutni mesec)	(l)
B	zahtevana rezervna voda	(l)
V	velikost zbiralnika	(l)

c) Količinska opredelitev potrebe po vodi: podrobni pristop za neznano velikost sistema vertikalne ozelenitve

S prvo enačbo se izračuna največje število panelov, ki jih je mogoče namestiti za določeno območje zbiranja deževnice. Kar zadeva enačbe, ta pristop temelji na osnovnem pristopu za znane velikosti sistemov vertikalne ozelenitve.

Izračun se osredotoča predvsem na panele.

$$D_{p,d} = D_p \times VGA$$

pri čemer je

D_p	potreba po vodi sistema vertikalne ozelenitve na m ² in dan	(l/m ² /dan)
VGA	območje vertikalne ozelenitve sistema vertikalne ozelenitve	(m ²)
$D_{p,d}$	potreba po vodi sistema vertikalne ozelenitve na dan	(l/d)

Nato se določi število panelov, ki jih je mogoče namestiti za določeno območje zbiranja deževnice.

$$np = \frac{Y_r}{D_{p,d}}$$

pri čemer je

Y_r	izdatnost deževnice na dan	(l/d)
$D_{p,d}$	potreba po vodi sistema vertikalne ozelenitve na dan	(l/d)
np	število panelov	(panel)

Naslednja enačba prikazuje, na katerem območju je potrebno določeno število panelov (np). Poleg določanja te vrednosti je pomembno poznati tudi največjo razpoložljivo površino sten stavbe. To prinaša odgovor na vprašanje, koliko panelov je mogoče namestiti in kako velika je lahko zbiralna površina za deževnico.

$$Ap = nxnp$$

pri čemer je

n	velikost enega panela	(m ² /panel)
np	število panelov	(panel)
Ap	površina panelov	(m ²)

Nato se izračuna največje število panelov, ki je omejeno s površino sten.

$$np_{Wmax} = \frac{A_{Wmax}}{n}$$

pri čemer je

A_{Wmax}	največja razpoložljiva površina sten za sistem vertikalne ozelenitve	(m ²)
n	velikost enega panela	(m ² /panel)
np_{Wmax}	največje število panelov	(panel)

Nato se določi velikost zbiralnika. Naslednji enačbi sta enaki kot za osnovni pristop za znane velikosti sistemov vertikalnih ozelenitev. Zadnja formula ni vključena v enačbo pri osnovnem pristopu.

$$D_{N,d} = D_{p,d} \times ((D_{f,d} - D_{p,d}) \times s)$$

pri čemer je

$D_{p,d}$	potreba po vodi sistema vertikalne ozelenitve na dan	(l/d)
$D_{f,d}$	največja potreba po vodi sistema vertikalne ozelenitve na dan	(l/d)
s	količnik skladiščenja	(-)
$D_{N,d}$	skupna potreba po vodi sistema vertikalne ozelenitve na dan	(l/d)

Določijo se dimenzije zbiralnika, ki je potreben za en panel.

$$V = D_{N,d} \times d_d$$

pri čemer je

$D_{N,d}$	skupna potreba po vodi sistema vertikalne ozelenitve na dan	(l/d)
D_d	trajanje suhega obdobja	(d)
V	prostornina zbiralnika	(l)

Zadnja enačba opredeljuje potrebno prostornino zbiralnikov za celotno število panelov.

$$V_r = np \times V$$

pri čemer je

np	število panelov	(panel)
V	prostornina zbiralnika na panel	(l/panel)
V_r	prostornina zbiralnikov za vse panele	(l)

Cevi

Za določanje ustreznega premera cevi se je treba osredotočiti na tlačno izgubo (hv). Za rešitev te težave obstajajo različni pristopi. Prvi pristop je uporaba simulacijskega orodja, kot je EPANET (EPA, 2000), ki ga je leta 2000 razvila Agencija ZDA za varstvo okolja (EPA), druga možnost pa je ročni izračun z uporabo naslednjih enačb na podlagi Darcy-Weisbachove enačbe.

Tlačni tok v cevi

Določanje ustreznega premera cevi s tlačnim tokom temelji na enačbah, ki so jih uporabljali Prandtl in Colebrook ter Darcy in Weisbach. Glavno merilo za določanje ustreznega premera cevi je tlačna izguba (hv), ki se povečuje z zmanjševanjem premera cevi. Za izračun se uporablja naslednji postopek:

1.
$$A = 0,25 \times D^2 \times \pi$$

pri čemer je

D	notranji premer cevi	(m)
A	površina preseka cevi	(m ²)

2. Nato se določi hitrost.

$$v = \frac{Q_s}{A}$$

pri čemer je

Q_s	najvišji pretok v sistemu vertikalne ozelenitve na sekundo	(m ³ /s)
A	površina preseka cevi	(m ²)
v	hitrost toka v cevi	(m/s)

3. Reynoldsovo število (Re) je potrebno za določanje, ali v ceveh pri hitrosti, izračunani zgoraj (v), prevladuje turbulentni ali laminarni tok. Velja naslednje pravilo: ko je Re nižje od 2.320, je tok laminarni, ko pa je Re višje od 2.320, je tok turbulentni.

$$R = \frac{vxD}{\nu}$$

pri čemer je

v	hitrost toka v cevi	(m/s)
D	notranji premer cevi	(m)
ν	kinematična viskoznost	(m ² /s)
Re	Reynoldsovo število	(-)

4. Absolutna hrapavost površine (ϵ) se izračuna z naslednjo formulo.

$$\epsilon = \frac{K}{D}$$

pri čemer je

K	hrapavost	(m)
D	notranji premer cevi	(m)
ϵ	absolutna hrapavost površine	(-)

5. Darcy-Weisbachov koeficient trenja (λ) se izračuna s ponavljanjem. Uporabljena formula je oblika Prandtl-Colebrookove enačbe. Uporablja se pristop iskanja faktorja trenja (λ), ki je dovolj blizu in se nato uporabi v Darcy-Weisbachovi enačbi.

$$\lambda = \left(\frac{1}{2 \times \log \left(\frac{2,51}{\epsilon x \sqrt{\lambda}} \right) + \frac{K}{3,71 x \nu}} \right)^2$$

pri čemer je

ϵ	absolutna hrapavost površine	(-)
λ	Darcy-Weisbachov koeficient trenja	(-)
K	hrapavost	(m)
ν	kinematična viskoznost	(m ² /s)

6. Moodyjevo število pomeni razliko med hidravlično hrapavo in prehodno površino.

$$Moody = R x \sqrt{\lambda x \varepsilon}$$

pri čemer je

Re	Reynoldsovo število	(-)
λ	Darcy-Weisbachov koeficient trenja	(-)
ε	absolutna hrapavost površine	(-)
Moody	Moodyjevo število	(-)

7. Nato se določi koeficient trenja cevi (I_r).

$$I_r = \frac{\lambda x v^2}{2 x g x D} x 1000$$

pri čemer je

λ	Darcy-Weisbachov koeficient trenja	(-)
v	hitrost toka v cevi	(m/s)
g	gravitacijski pospešek	(m/s ²)
D	notranji premer cevi	(m)
I_r	gradient trenja cevi	(‰)

8. Posamezne lokalne izgube (h_{vl}) prispevajo k skupni tlačni izgubi (h_v) in se zato izračunajo.

$$h_{vl} = \zeta_l x \frac{v^2}{2 x g}$$

pri čemer je

ζ_l	koeficient izgube za lokalne izgube	(-)
v	hitrost toka v cevi	(m/s)
g	gravitacijski pospešek	(m/s ²)
h_{vl}	skupne posamezne lokalne izgube	(m)

9. Na koncu se določi tlačna izguba (h_v).

$$h_v = \left(\lambda x \frac{L}{D} + h_{vl} \right) x \frac{v^2}{2 x g}$$

pri čemer je

λ	Darcy-Weisbachov koeficient trenja	(-)
D	notranji premer cevi	(m)
L	dolžina cevi	(m)
h_{vl}	skupne posamezne lokalne izgube	(m)
v	hitrost toka v cevi	(m/s)
g	gravitacijski pospešek	(m/s ²)
h_v	tlačna izguba	(m)

3.3.4 Črpalke

Določanje črpalk je odvisno od količine vode (Q), geodetske razlike višin (H), ki jo morajo premagati, in tlačne izgube (h_v). Geodetska razlika višin (H_{geod}) in tlačna izguba (h_v) se seštejeta, da dobimo dobavno višino (H). Tlačna izguba (h_v) se izračuna, kot je opisano v prejšnjem poglavju.

Določanje krivulje črpanja

Za izračun krivulje črpanja za ustrezeni primer se lahko uporabijo naslednje formule:

$$h_{\text{geod}} = h_{\text{irrigation}} - h_{\text{tank}}$$

pri čemer je

$h_{\text{irrigation}}$	višina namakanja sistema vertikalne ozelenitve (nadmorska višina)	(m)
h_{tank}	višina zbiralnika (nadmorska višina)	(m)
h_{geod}	geodetska višina	(m)

Dobavna višina (h_{total}) je sestavljena iz geodetske razlike višin (h_{geod}) in tlačne izgube (h_v).

$$h_{\text{total}} = h_{\text{geod}} + h_v$$

pri čemer je

h_{geod}	geodetska višina	(m)
h_v	tlačna izguba	(m)
h_{total}	dobavna višina	(m)

Za opredelitev točk na krivulji črpanja se določi koeficient.

$$c = \frac{Q_h^2}{h_v}$$

pri čemer je

Q_s	najvišji pretok v sistemu vertikalne ozelenitve na uro	(m ³ /s)
h_v	tlačna izguba	(m)
c	koeficient tlačne izgube	(-)

Pretoki se opredelijo v območju najvišjega pretoka v sistemu vertikalne ozelenitve v enakih korakih, da nastane reprezentativna krivulja črpanja. Za opredelitev tlačnih izgub za vsakega od teh pretokov se znova uporabi zgornja enačba, koeficient krivulje črpanja (c) pa je znana vrednost. Nato se za graf uporabijo pretoki (Q_h) in dobavne višine (h_{total}).

Ustrezne črpalke je mogoče najti na spletnih mestih dobaviteljev, odvisno od pretoka in skupne tlačne izgube. Podrobne informacije so navedene v standardu ÖNORM EN 16941-1 (2018).

3.3.5 Zasnova sistema za uporabo deževnice

Sistem za zbiranje deževnice mora na splošno imeti rezervno oskrbo z vodo, kadar je potreben neprekinjen pretok. V ta namen je mogoče upoštevati različne vodne vire, odvisno od razpoložljivosti (preglednica 3.6). V primeru dodatne priključitve na sistem oskrbe s pitno vodo je treba preprečiti vstop nepitne vode v sistem oskrbe s pitno vodo (ÖNORM EN 16941-1, 2018). To pomeni, da se na spojkah zagotovi nemehansko preprečevanje povratnega toka, pri katerem se voda skozi zračno režo odvaja v posodo, ki vedno omogoča neomejeno prehajanje v ozračje (WRAS, 2020a).

- Količina razpoložljive vode je odvisna od površine zbiranja deževnice.
- Uporabiti je mogoče dve glavni vrsti izračuna – osnovni in podrobni pristop.
- Potrebne podatke je treba zbirati vsaj mesečno.
- Za upoštevanje sezonskih vzorcev padavin in potrebo rastlin po vodi so pomembni natančnost in podatki v kratkem časovnem okviru (vsaj mesečno).

4 Razvoj sistema vertikalne ozelenitve z uporabo različnih virov vode

V sodelovanju med Inštitutom za bioinženiring tal in krajinsko gradnjo ter Inštitutom za sanitarni inženiring in nadzor nad onesnaževanjem voda na Univerzi BOKU (Dunaj, Avstrija) smo razvili, izdelali in tri leta vzdrževali večnamensko živo steno s sistemom uporabe sadilnih posod (Pucher idr., 2020). Cilj tega razvoja je bil oblikovati odporen sistem vertikalne ozelenitve, ki je preprost za vzdrževanje in omogoča uporabo različnih virov vode.

Predvideni so bili naslednji scenariji zalivanja:

- a) Dnevno namakanje za zagotavljanje največje možne zmogljivosti izhlapevanja za hlajenje mest. Za namakanje smo uporabili vodovodno vodo, saj je to običajni vodni vir za sisteme vertikalnih ozelenitev (Ottelé idr., 2011). Preučili smo tudi uporabo sive vode za namakanje, ker je gospodarna z viri. Za to »običajno« uporabo sistema vertikalne ozelenitve je bila zaželeno zasaditev s kar najdaljšim obdobjem cvetenja, ki je privlačna čez vse leto.

- b) Oskrba z deževnico in namakanje za doseganje kar najmanjše potrebe po vodi. Ker se lahko pojavljajo suha obdobja, morajo biti zasaditve odporne proti suši.
- c) Čiščenje neobdelane sive vode. Zaradi potrebe po čiščenju sive vode, bi skozi rastni substrat tekla velika količina vode, zato morajo biti zasaditve prilagojene na stalno vlažno rastišče.

Za uresničitev navedenih ciljev smo izvedli naslednje korake.

1. korak: Izbira sistema vertikalne ozelenitve za zdrav razvoj rastlin, ki omogoča izbiro najrazličnejših vrst in ustreza zahtevam delovanja kot sistem za čiščenje sive vode.
2. korak: Razvoj preprostega nizkotehnološkega sistema namakanja.
3. korak: Priprava substrata, ustreznega za uporabo različnih vodnih virov, vključno z vodovodno vodo, deževnico in očiščeno sivo vodo.
4. korak: Izbor ustreznih rastlin.

Rezultati posameznih korakov zasnove so podrobneje opisani spodaj.

Proces zasnove

1. korak: Izbira sistema vertikalne ozelenitve za zdrav razvoj rastlin, ki omogoča izbiro najrazličnejših vrst in ustreza zahtevam delovanja kot sistem za čiščenje sive vode.

Priporočila glede zasnove, specifična za čiščenje sive vode, vključujejo izbiro ustreznega substrata (zlasti kar zadeva hidravlično prevodnost), količino in interval namakanja ter število potrebnih sadilnih posod, kar je večinoma opisano kot skupna vodoravna površina. Splošna priporočila vključujejo naslednje (Cross idr., 2021):

- Površina na osebo: $1\text{--}2\text{ m}^2$
- Višina na posodo: $> 20\text{ cm}$
- Hidravlična obremenitev: $0,1\text{--}0,5\text{ m}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$
- Organska obremenitev: $10\text{--}160\text{ g COD}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$
- Hidravlična prevodnost: $\sim 10^{-4}\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Poroznost: $\sim 0,4\text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$

Za izpolnjevanje zahtev 90 litrov na dan na površini $1\text{--}2\text{ m}^2$ in zagotavljanje dovolj prostora za korenine za zdrav razvoj rastlin smo prilagodili mere obstoječega sistema vertikalne ozelenitve (živa stena s sistemom uporabe sadilnih posod). Alumini-jaste posode imajo naslednje dimenzije: $v = 20\text{ cm}$, $\bar{s} = 18\text{ cm}/20\text{ cm}$ in $d = 150\text{ cm}$.

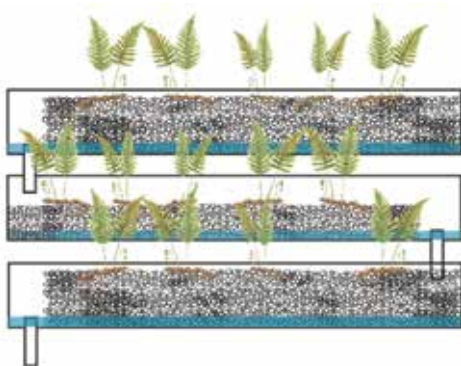


Slika 3.12: Preizkusna stena na Univerzi BOKU (od leve proti desni): nizka stopnja namakanja enkrat na teden (scenarij b), dnevno zalivanje (scenarij a) z vodovodno vodo, dnevno zalivanje (scenarij a) s sivo vodo, urno zalivanje (scenarij c) za čiščenje sive vode (fotografija: Irene Zluwa)



Slika 3.13: Podrobnosti aluminijastih korit (fotografiji: Irene Zluwa in Rebecca Braunegger)

Kot sloj za izolacijo in prezračevanje smo uporabil geotekstil, nanj pa dodali približno 17 cm rastlinskega substrata. Na eno preizkusno steno smo drugo nad drugo namestili 10 sadilnih posod na razdalji 15 cm, ki smo jih pritrdili na aluminijasto podkonstrukcijo. Štiri preizkusne stene smo postavili drugo poleg druge. Scenarij rednega namakanja (a) smo preizkusili z vodovodno vodo na steni 2 in s sivo vodo na steni 3. Scenarij suhega obdobja (b) smo preizkusili na steni 1, scenarij čiščenja sive vode (c) pa na steni 4.



Slika 3.14: Shema kaskadnega pretoka (ilustracija: Irene Zluwa)

2. korak: Razvoj preprostega nizkotehnološkega sistema namakanja.

Pogost sistem namakanja z uporabo kapljalnikov v vsaki posodi pomeni veliko vzdrževanja zaradi mašenja majhnih namakalnih vodov in morebitne okvare posameznih kapljalnikov. Težave z mašenjem se lahko povečajo če se poleg vodovodne vode uporabljajo tudi drugi vodni viri. Rešitev za zmanjšanje učinkov mašenja bi lahko bila izključna uporaba vodovodne vode, vendar to ni trajnostna praksa, saj je treba za izpolnjevanje potreb po vodi brez izčrpavanja virov sladke vode uporabiti ukrepe za ponovno uporabo vode, zlasti za namakanje.

Za odpravo opisanih težav smo razvili kaskadni režim pretoka vode, prikazan na sliki 3.14 (Pucher idr., 2020). Voda vstopa v najvišjo sadilno posodo po eni cevi, teče skozi posodo in tako napolni zaježitveni zbiralnik (do višine 2 cm). Nato voda steče navzdol v naslednjo sadilno posodo. Odtok na razdalji 10 cm preprečuje, da bi korenine rastlin zamašile cev (slika 3.13). Vodo, shranjeno v zaježitvenem zbiralniku, rastline uporabljajo neposredno ali z absorpcijo skozi korenine oziroma se zaradi kapilarnega dviga v substratu najprej prenese navzgor, preden jo korenine absorbirajo. Cevi so izdelane iz PVC (22 mm) z zatiskovalnimi spojkami, običajnimi za cevi za vodo. Te cevi so trpežne in bolj tesnijo kot priključki z navoji, ki se uporabljajo za kmetijske namakalne sisteme. Steni 1 in 2 smo namakali z vodovodno vodo, steni 3 in 4 pa s sivo vodo. Za uporabo sive vode smo postavili zbiralnik, iz katerega smo črpali vodo za ozelenitev. Hitrost oskrbe z vodo smo nastavili na 0,3 l/min, da bi preprečili prelivanje v sadilnih posodah. Odvečna voda iz zadnje sadilne posode izteka iz sistema. To vodo je treba pretočiti nazaj v zbiralnik in jo ponovno uporabiti za doseganje trajnosti.

3. korak: Razvoj rastnega substrata.

V sklopu projekta Vertical Green 2.0 smo izdelali seznam parametrov, da bi zagotovili smernice glede potrebnih parametrov in njihovih predlaganih razponov vrednosti (preglednica 3.12). Na podlagi teh priporočil smo izbrali rastni substrat za sistem VO. Končne sestavine rastnega substrata so bile ekspandirana glina (4–8 mm), zeolit (1–2,5 mm), perlit (0–6 mm), pesek (0,06–2 mm) in zdrobljena ekspandirana glina (0–8 mm) v enakih količinah.

Preglednica 3.12: Opis razvitega substrata

Parameter	Enota	Razpon vrednosti	Razvit rastni substrat (univerza BOKU)	Vir
Hidravlična prevodnost	(m.s ⁻¹)	$> 10^{-5}; < 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	(ÖNORM B 2506-3, 2016)
Kapilarni dvig	(cm)	> 10	26,3	(GGS, 2015)
Poroznost	(–)	$> 0,35$	0,448	(DIN EN 13041, 2012)
Kapaciteta vode	(m ³ .m ⁻³)	$> 0,20$	0,29	(DIN EN 13041, 2012), (ÖNORM B2606-1, 2009)
Kapaciteta zraka	(m ³ .m ⁻³)	$> 0,10$	0,16	(DIN EN 13041, 2012)
pH		$> 5,5; < 9,5$	8	(ÖNORM L 1086, 204AD)
Prostorninska gostota v suhem stanju	(kg.m ⁻³)	n. p.	777,24	(ÖNORM B2606-1, 2009)
Prostorninska gostota v vlažnem stanju	(kg.m ⁻³)	n. p.	1075,83	(ÖNORM B2606-1, 2009)

4. korak: Opredelitev ustreznih rastlin.

Da bi našli ustrezne rastline za različne scenarije uporabe vode, smo preizkusili 39 vrst rastlin. Steno 2 smo namakali s 25 l vodovodne vode na dan, steno 3 pa s 25 l sive vode na dan (scenarij a). Vodovodno vodo (25–50 l na teden) smo uporabili za steno 1 (scenarij b), za steno 4 pa smo uporabili 90 l sive vode na dan (scenarij c). Pri scenariju (b) z nizko potrebo po vodi so samo štiri rastlinske vrste preživele v dobrem stanju (iskrivka (*Heuchera x cultorum* »Berry Smoothie«), jesenska nebina (*Aster ageratoides* »Asran«), krvomočnica (*Geranium wallichianum* »Rozanne«) in kraški šetraj (*Satureja montana*)). Za scenarij (a) z zadostno količino vode, pri katerem rastline namakajo vsak dan, so bile poleg vrst, priporočenih za scenarij suhega obdobja, zelo primerne naslednje vrste: bradata perunika (*Iris*

barbata nana »Brassie«), rudbekija (*Rudbeckia fulgida* »Goldsturm«), maslenica (*Hemerocallis middendorfi*) in žajbelj (*Salvia officinalis*). V dobrem stanju so bile tudi naslednje vrste: vodna perunika (*Iris pseudacorus*), bergenija (*Bergenia cordifolia*), šašulica (*Calamagrostis x acutiflora* »Karl Foerster«), jagoda (*Fragaria x ananassa* »Delikatess«), drobnjak (*Allium schoenoprasum*) in rožmarin (*Rosmarinus officinalis* »Miss Jesopp's Upright«). Pri sistemu za čiščenje sive vode (scenarij c) so bile primerne naslednje vrste: konjska griva (*Eupatorium cannabinum*), vodna meta (*Mentha aquatica*), hermelika (*Sedum telephium*), nožničavi munec (*Eriophorum vaginatum*), močvirska krpača (*Thelypteris palustris*) in navadna krvenka (*Lythrum salicaria*).

Preglednica 3.13: Primerne rastline za različne scenarije uporabe vode na živi steni s sistemom uporabe sadilnih posod

Dnevno namakanje (scenarij a)	Namakanje enkrat do dvakrat na teden (scenarij b)	Čiščenje sive vode (scenarij c)
jesenska nebina (<i>Aster ageratoides</i> »Asran«)	jesenska nebina (<i>Aster ageratoides</i> »Asran«)	konjska griva (<i>Eupatorium cannabinum</i>)
iskrivka (<i>Heuchera x cultorum</i> »Berry Smoothie«)	iskrivka (<i>Heuchera x cultorum</i> »Berry Smoothie«)	vodna meta (<i>Mentha aquatica</i>)
krvomočnica (<i>Geranium wallichianum</i> »Rozanne«)	krvomočnica (<i>Geranium wallichianum</i> »Rozanne«)	hermelika (<i>Sedum telephium</i>)
kraški šetraj (<i>Satureja montana</i>)	kraški šetraj (<i>Satureja montana</i>)	nožničavi munec (<i>Eriophorum vaginatum</i>)
bradata perunika (<i>Iris barbata nana</i> »Brassie«)		močvirska krpača (<i>Thelypteris palustris</i>)
rudbekija (<i>Rudbeckia fulgida</i> »Goldsturm«)		navadna krvenka (<i>Lythrum salicaria</i>)
maslenica (<i>Hemerocallis middendorfi</i>)		
žajbelj (<i>Salvia officinalis</i>)		
vodna perunika (<i>Iris pseudacorus</i>)		
bergenija (<i>Bergenia cordifolia</i>)		
šašulica (<i>Calamagrostis x acutiflora</i> »Karl Foerster«)		
jagoda (<i>Fragaria x ananassa</i> »Delikatess«)		
drobnjak (<i>Allium schoenoprasum</i>)		
rožmarin (<i>Rosmarinus officinalis</i> »Miss Jesopp's Upright«)		

Ugotovili smo, da večja količina vode rastlinam bolj ustreza kot suhe razmere, podoben rezultat pa smo opazili pri meritvah biomase (4. del), saj je bilo največ biomase proizvedene na steni z najintenzivnejšim zalivanjem. Po dveh letih vzdrževanja nismo zaznali nobene razlike v razvoju rastlin, če primerjamo rastline, namakane z očiščeno sivo vodo, in rastline, namakane z vodovodno vodo. Poleg vrst, ki smo jih preučevali za zgoraj navedene prilagoditve, bi bilo treba preizkusiti več vrst rastlin, prav tako pa je potrebno daljše obdobje preizkušanja, da se preverita celovit potencial in učinkovitost predstavljenih večnamenskih sistemov vertikalnih ozelenitev.

5 Potencial za izvedbo sistemov vertikalnih ozelenitev na Dunaju, v Ljubljani in Berlinu

Glede vprašanja, kateri tipi stavb so primerni za sisteme vertikalnih ozelenitev, smo v treh partnerskih mestih (Dunaj, Ljubljana in Berlin) izdelali kataloge izbranih stavbnih tipov.

V vsakem katalogu izbranih stavbnih tipov so navedene ocene različnih tipov stavb glede njihovega potenciala za izvedbo vertikalnih ozelenitev. Stavbne tipe smo predstavili z različnimi primeri obstoječih stavb, ki smo jih izbrali za predstavitev značilnosti izbranega stavbnega tipa v vsakem mestu. Zaradi razlik med tremi mesti smo prvi korak analize za katalog izbranih stavbnih tipov opravili ločeno, za vsako mesto smo preučili arhitekturne študije oziroma raziskave in morfološke posebnosti.

Ključno izhodišče pri analizi tipov stavb za katalog izbranih stavbnih tipov je bilo enako pri vseh primerih ter se je osredotočalo na oceno različnih vidikov in značilnosti tipov stavb, ki so ustrezni za izvedbo vertikalnih ozelenitev. Za vsak primer stavbe smo v ocenjevalni obrazec zabeležili njene fizične lastnosti, kot so velikost, višina, konstrukcija stavbe, funkcija in konstrukcija fasade/sten, izvor/stilno obdobje, predpise, lastništvo in umestitev v urbani kontekst. Dokumentacija stavbe je prikazana na sliki 3.15.

Za Ljubljano smo izbrali devet stavbnih tipov, ki zajemajo različne sloge gradnje in funkcije: industrijske, poslovne/trgovske, javne in različne tipe stanovanjskih stavb. Tipe stavb smo pregledali in analizirali na podlagi podatkov v GIS, pregleda člankov in terenskih raziskav. V Berlinu smo izbrali in ocenili pet značilnih stavbnih tipov. Na Dunaju smo lahko ocenili večino stavbnih tipov, saj je bila ta tema vključena v

3. Industrijska stavba
v IC Šiška, Ljubljana

[illegible]

© 2006 The Authors
Journal compilation © 2006 Blackwell Publishing Ltd

[illegible]

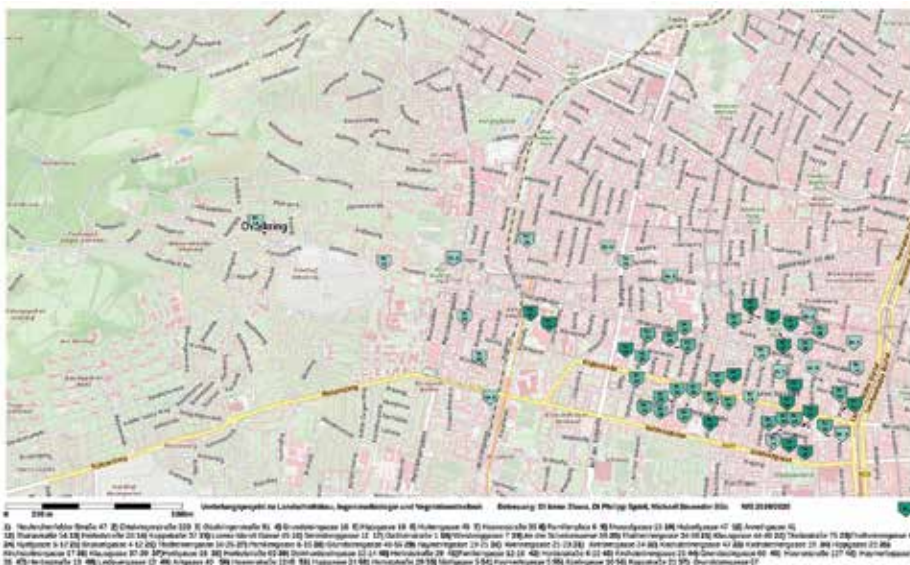
Slika 3.15: Primer ocenjevalnega lista kataloga izbranih stavbnih tipov v Ljubljani (avtorica: Jana Kozamernik)

dva študentska projekta. V prvem letu smo opredelili in analizirali 57 stavb (ki se razlikujejo po starosti, funkciji in slogu gradnje) v 16. okrožju Dunaja. To okrožje smo izbrali zaradi visoke gostote pozidave, zgoščevanja in arhitekturne strukture. Za razvrstitev starosti stavb smo opredelili tri kategorije, pri čemer smo se sklicevali na karte kulturne dediščine Dunaja (Stadt Wien, 2020):

- Stare stavbe do leta 1918 (prva svetovna vojna)
- Medvojne in povojne stavbe do moderne dobe (1976)
- Sodobne stavbe po letu 1976

Poleg tega smo uporabili informacije o konstrukciji stavb, ki smo jih prejeli od mesta Dunaj, z namenom pridobiti dodatne informacije o tipih in starosti stavb. Izbrane primere smo zabeležili in so označeni na karti na sliki 3.16. Uporabili smo naslednja merila za ocenjevanje možnosti izvedbe sistemov vertikalnih ozelenitev:

1. Ali obstaja možnost izvedbe zelene fasade z vzpenjalkami, ki izraščajo iz tal? Zahtevi za to možnost sta prepustna površina poleg stavbe ali možnost zagotavljanja prepustnosti.



Slika 3.16: Stavbe, ocenjene glede na njihov potencial za sisteme vertikalnih ozelenitev, v 16. okrožju Dunaja (svetlo modra: stare stavbe do leta 1918, modra: medvojne in povojne stavbe do moderne dobe (1976), stare stavbe do leta 1918 (avtor: Michael Bruneder)

2. Če se sadilna posoda postavi na pločnik, mora ostati 2,5 m praznega prostora.
3. Stavb, ki imajo toplotno izolacijo s kompozitnim sistemom, ni dovoljeno ozeleniti z vzpenjalkami, ki ne potrebujejo opore.
4. Stavbe, ki so višje od stavb »Bauklasse 3« na Dunaju (višine 9–16 m), je treba prilagoditi glede na protipožarne omejitve (glejte MA 22, 2019).
5. Estetske značilnosti stavbe morajo ostati nespremenjene.

Te podatke smo vnesli v matriko in dobili naslednje rezultate glede potenciala za sisteme vertikalnih ozelenitev na stavbah v 16. okrožju na Dunaju:

- **Stare stavbe (zgrajene do leta 1918):** Med 19 analiziranimi stavbami so štiri stavbe imele dovolj prostora za zelene fasade z vzpenjalkami, ki izraščajo iz tal, ali postavitve posod na tla. Pri šestih stavbah smo žive stene oziroma žive stene s sistemom uporabe sadilnih posod upoštevali kot potencialne možnosti. Pri šestih stavbah se zaradi bogatega fasadnega okrasa priporoča le uporaba diskretne ozelenitve. Samo ena stavba je imela balkon, druga pa je bila naknadno opremljena s teraso, zato imata potencial za vertikalno ozelenitev.
- **Stavbe, zgrajene med letoma 1918 in 1976:** Analizirali smo 23 stavb. V devetih primerih je bilo na pločniku dovolj prostora za postavitve sadilnih posod. Rezultati kažejo, da je bilo 20–21 stavb primernih za žive stene oziroma žive stene s sistemom uporabe sadilnih posod, osem stavb pa je imelo balkon.

- **Stavbe, zgrajene po letu 1976:** Med 15 stavbami ni imela nobena dovolj prostora za izvedbo zelene fasade z vzpenjalkami, ki izraščajo iz tal. Žive stene oziroma žive stene s sistemom uporabe sadilnih posod bi bilo mogoče izvesti na 12 stavbah, sedem stavb pa je imelo balkon.

Na podlagi zgoraj navedenih analiz, opravljenih v prvem letu, je mogoče izpostaviti naslednje: S tehničnega vidika je na vsakem stavbnem tipu in stavbah vseh starosti mogoče izvesti določen tip sistema vertikalne ozelenitve. Omejevalni dejavnik je bolj estetske narave in je odvisen od osebnega okusa.

V drugem letu smo zgoraj naveden seznam meril dopolnili z estetskimi vidiki: izključili smo stavbe z močnim oblikovalskim konceptom in zgodovinske stavbe z bogato okrašenimi fasadami. Poleg tega smo velikost predela, izbranega za oceno, zmanjšali na območje, imenovano Deinhardstein-Grätzel. To pomeni, da smo lahko v oceno zajeli celoten stavbni fond. Ugotovili smo, da so med 264 stavbami 203 stavbe primerne za naknadno izvedbo sistemov vertikalnih ozelenitev (slika 3.17).

V določenih soseskah smo opravili terensko analizo za ocenjevanje potenciala za izvedbo sistemov vertikalnih ozelenitev v obstoječem grajenem tkivu. Nato smo lahko analizo v zvezi s stavbami razširili in vključili druga merila, povezana z vplivnim območjem ali okolico – ulico, trgov, dvorišči itd. V tem kontekstu smo opredelili parametre bližnjega okolja, kot so značilnosti vodoravnih površin (tlakovane površine, zelena območja, prepustnost in vegetacija), in prisotnost zelenih elementov, kot so drevesa. Potencial za zelene fasade je prepoznan kot prispevek k



Slika 3.17: Stavbe, ki so primerne za sisteme vertikalnih ozelenitev (zelena) in niso primerne za sisteme vertikalnih ozelenitev (rdeča), na območju Deinhardstein-Grätzel (Dunaj) (avtor: Samuel Schnöll)

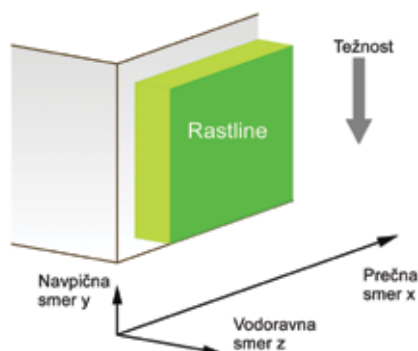
prostorski kakovosti, zlasti ko je v grajenem tkivu ugotovljeno pomanjkanje drugih zelenih prvin. Na teh območjih se izvedba zelenih fasad spodbuja tudi ob prenovah. Pri tem je treba oceniti tudi cilje in pomisleke glede oblikovanja sistemov vertikalnih ozelenitev. Merila za analizo stavb in odprtih prostorov so ključni dejavnik pri postopku odločanja za zelene fasade in izvedbo tega tipa fasade. Ta merila so lahko tudi bistveni dejavnik smernic za njihovo izvedbo, ki jih je treba vključiti v planske dokumente na mestni ravni (glejte 5. del).

6 Prvi koraki v smeri robotskih rešitev pri vzdrževanju sistemov vertikalnih ozelenitev

Strojne rešitve za vzdrževanje sistemov vertikalnih ozelenitev lahko štejemo za podskupino kmetijskih strojev, zato se cilji uporabe kmetijskih strojev upoštevajo tudi tu (Schön idr., 1998). Uporaba orodij, opreme in strojev je bistvena značilnost človeške dejavnosti. V projektu smo si zastavili naslednje cilje:

- Izboljšanje proizvodnje. To pomeni povečanje donosov, zmanjšanje izgub in tveganj pri gojenju ter povečanje kakovosti izdelkov.
- Izboljšanje produktivnosti dela. Ta cilj vključuje na primer skrajšanje časa dela in povečanje udobja pri delu.
- Izboljšanje ekonomske učinkovitosti.

Če primerjamo vzdrževanje sistemov vertikalnih ozelenitev in tradicionalnega kmetijstva, je glavna razlika v usmerjenosti zasajene površine (vertikalno). To pomeni, da je treba tehnologije prilagoditi za delovne postopke in premikanje med rastlinami. Tako na primer običajno podvozje ni več potrebno in ga je treba zamenjati z navpično postavljenimi vodili, dvigali z jeklenicami ali drugimi tehničnimi



Slika 3.18: Smer težnosti (avtor: Sebastian Scröder)

rešitvami, ki se pogosto uporabljajo zaдвиžno opremo. Schmal (2017) trdi, da sta količina in vrsta gradbenega materiala bistveni za zagotavljanje pozitivne bilance CO₂ pri zeleni fasadi. Ker je potrebna obsežna konstrukcija, menimo, da pristop uporabe zamenljivih modulov ni okolju prijazen rešitev za velike sisteme vertikalnih ozelenitev. V nadaljevanju se osredotočamo na nepremične naprave in premikajoče se orodje. Sistem razvoja strojnih naprav je usmerjen v določene naloge strojev med rastno dobo in ob upoštevanju strukture rastlin. V spodnji preglednici (preglednica 3.14) so navedene možne različice ali delne rešitve za različne potrebe, ki se lahko z združevanjem uporabljajo za razvoj novih rešitev in izdelkov. Na podlagi preglednice 3.14 je mogoče obravnavati rešitve za različne procese proizvodnje rastlin.

Na mednarodni delavnici z deležniki, ki je potekala 26. septembra 2021 na Tehnični univerzi v Berlinu, so deležniki določili splošne zahteve za pobiranje pridelkov in vzdrževanje. Deležniki so znova poudarili nujno potrebo po nizki ceni vzdrževanja. Poleg tega so izrazili potrebo po razlikovanju med stroji za zasebno in profesionalno uporabo. Po eni strani imajo deležniki v skupnosti visok interes za sodelovanje pri vzdrževanju sistemov vertikalnih ozelenitev, po drugi strani pa je bila izražena potreba po popolnoma avtomatiziranih sistemih. V okviru raziskovalnega projekta Vertical Green 2.0 smo z nizkotehnološkimi in večnamenskimi visokotehnološkimi sistemi upoštevali te različne interese.

Preglednica 3.14: Sistem za opisovanje tehnologij strojev za vertikalne ozelenitve

Značilnost		Različice						
Postopek pridelave rastlin	1	Obdelava	Sajenje in setev	Gnojenje	Zaščita rastlin	Namakanje	Pobiranje pridelkov	
Stopnja avtomatizacije	2	Ročno		Delno avtomatizirano		Popolnoma avtomatizirano		
Vrsta energije	3	Človeška energija	Električna energija	Kemična energija	Hidravlična energija	Pnevmatična energija		
Oskrba z energijo	4	Električni vod			Shranjevanje energije v stroju			
Vodenje orodja	5	Konstrukcija za vzporedno gibanje		Konstrukcija za serijsko gibanje		Konstrukcija s spreminjajočimi se priključki na podnožju	Brez vodenja	
Prostostne stopnje orodja	8	0	1	2	3	4	5	6
Kamera	9	Ne			Da			
Obdelava slik	10	Ne	Za krmiljenje premikanja	Za določanje stanja rastlin	Za krmiljenje delovnega procesa	Za vse naloge krmiljenja		

V nadaljevanju je opisan večnamenski visokotehnološki sistem, ki smo ga razvili v okviru projekta. Pri pregledu tržišča nismo našli ustreznih razpoložljivih rešitev. Prav tako s pregledom literature leta 2018 nismo odkrili nobenega primerljivega raziskovalnega projekta. V letih 2019/2020 se je to bistveno spremenilo, saj so bili objavljeni prvi rezultati dveh drugih projektov z enakim ciljem.

- Inštitut Fraunhofer IPA in Inštitut za energetske učinkovitost pri proizvodnji (Energy Efficiency in Production – EEP) Univerze v Stuttgartu sta začela izvajati projekt »Green Wall Robot – automated, smart green facades«. Ekipa predstavlja projektno študijo kabelsko krmiljenega robota ter opisuje zamisel za sistem na tirnicah, ki lahko zamenjuje in vzdržuje modularno ozelenitev (Reisinger idr., 2019).
- Univerza za tehnologijo v Sydneyju (UTS) je začela izvajati projekt »The Green Wallbot«. V povzetku poročila o projektu je opisan naslednji izdelek: »Wallbot, robotski sistem za pregledovanje, spremljanje in vzdrževanje zelenih sten omogoča zmanjševanje težav z zdravjem in varnostjo pri delu ter nižje stroške vzdrževanja, povezane z zelenimi stenami.« (slika 3.19) Razvit robotski prototip je primerljiv z našo večnamensko visokotehnološko rešitvijo, Vendar pa je bila končna rešitev Univerze UTS omejena na zbiranje podatkov in ni mogla fizično vzdrževati rastlin (Wilkinson idr., 2021).

Za določanje položaja glave orodja glede na ozelenitev je mogoče opredeliti štiri glavne koncepte. To so konstrukcija za vzporedno gibanje, konstrukcija za serijsko gibanje, konstrukcija za »hojo« s spreminjajočimi se priključki na podnožju in dron s prostim gibanjem brez vodenja. Ti koncepti in primeri dejanskih izvedb so prikazani v preglednici 3.15.



Slika 3.19: Prototip Wallbot Univerze UTS (vir: Wilkinson idr., 2021)

Preglednica 3.15: Različni pristopi k gibanju orodja glede na tla

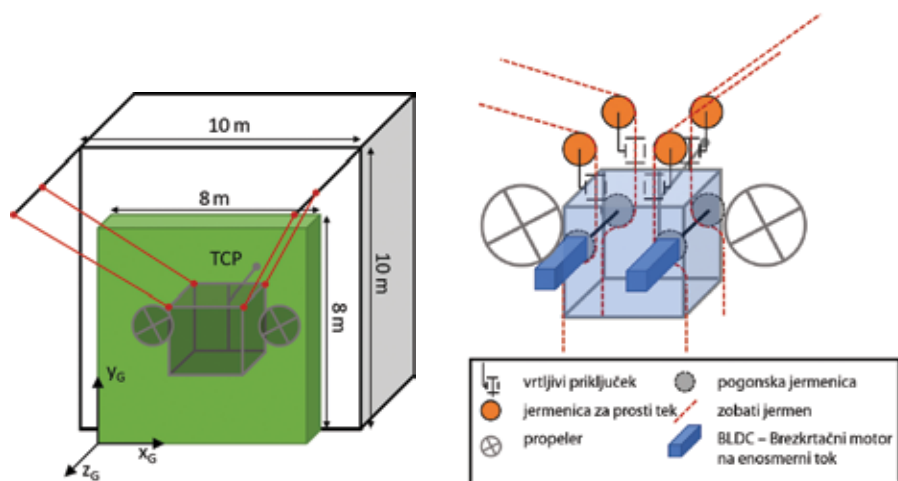
Konstrukcija za vzporedno gibanje	Konstrukcija za serijsko gibanje	Konstrukcija s spreminjajočimi se priključki na podnožju	Brez vodenja
Kabelsko krmiljen robot	Portalni sistem	Robotski sistem Canadarm2	Kmetijski dron

Za razvoj večnamenskega visokotehnološkega robota na Tehnični univerzi v Berlinu smo nato ocenili koncepte in opravili analizo koristi po smernicah VDI 2225. Dron je bil najslabše ocenjen zaradi varnosti in učinkovitosti. Portalni sistem je najšodobnejša rešitev, ker pa potrebuje obsežno konstrukcijo, je to draga rešitev za take delovne površine. Koncept konstrukcije s spreminjajočimi se priključki na podnožju, ki se giblje po fasadi, je slišati zelo obetaven in uspešno deluje na ponazorjenih primerih v breztežnostnem prostoru. Predpostavljamo, da težavo predstavlja samodejna, trdna in varna pritrditev na priključke na ozelenjeni fasadi. Poleg tega je potrebnih veliko gosto postavljenih priključkov ali zelo močni priključki. Čeprav ta koncept še ni prevladal, si zasluži nadaljnje raziskave. Najbolje ocenjen koncept pri analizi koristi je bil paralelni kabelsko krmiljeni robot. Raziskovalci na Univerzi v Duisburgu-Essnu so v okviru projekta LEAN vzpostavili sistem s primerljivim delovnim prostorom. Ta koncept je bil dobro ocenjen pri analizi koristi zaradi potencialno velikega delovnega prostora, robustnosti, varnosti in energetske učinkovitosti. Pozneje smo ugotovili, da so na univerzi UTS imeli isto razpravo in prišli do istega zaključka (Wilkinson idr., 2021).

6.1 Kabelsko krmiljeni viseči robot

Za to nalogo smo postavili pozicionirni mehanizem, ki nima popolnoma omejenega gibanja, s štirimi elementi prenosa, ki jih poganjata dva brezkrtačna enosmerna motorja (slika 3.20). Predpostavlja se, da sta prenosna elementa na vsaki strani vzporedna in trdna. V tej konfiguraciji je mogoče višino (y) in vodoravno gibanje, ki je vzporedno s fasado (x), krmiliti z motorji vitlov. Usmerjenost glede na osi y in x je stalna v vseh položajih.

Ena nenadzorovana prostostna stopnja je nihanje, ki je pravokotno na fasado. Sile v tej smeri ne bodo vplivale na napetost kabla. To omogoča zmanjševanje motorjev vitlov. Razdalja do fasade se uravnava z rotorji. Vzporedno s fasado je postavljen rotacijski laser z lasersko linijo. Detektor laserske linije, ki smo ga sestavili sami, meri položaj laserske linije glede na robota. Te informacije se uporabljajo za dinamično krmiljenje moči rotorja. Druga prostostna stopnja je vrtenje okrog osi,

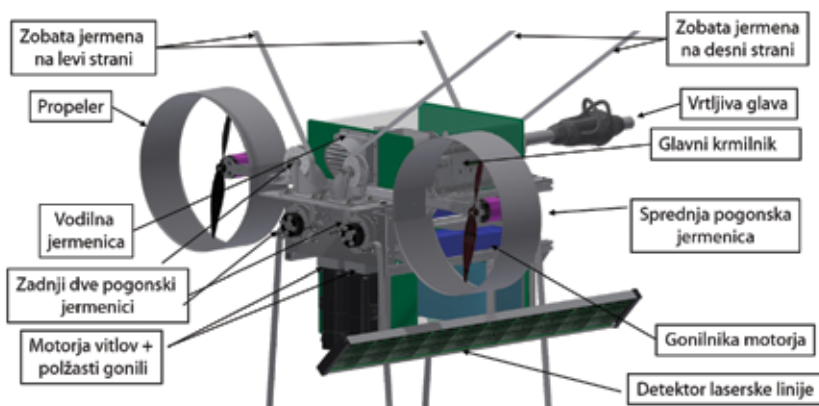


Slika 3.20: Delovni prostor in koordinatni sistem (levo) ter mehanski koncept robota (desno) (avtor: Sebastian Scröder)

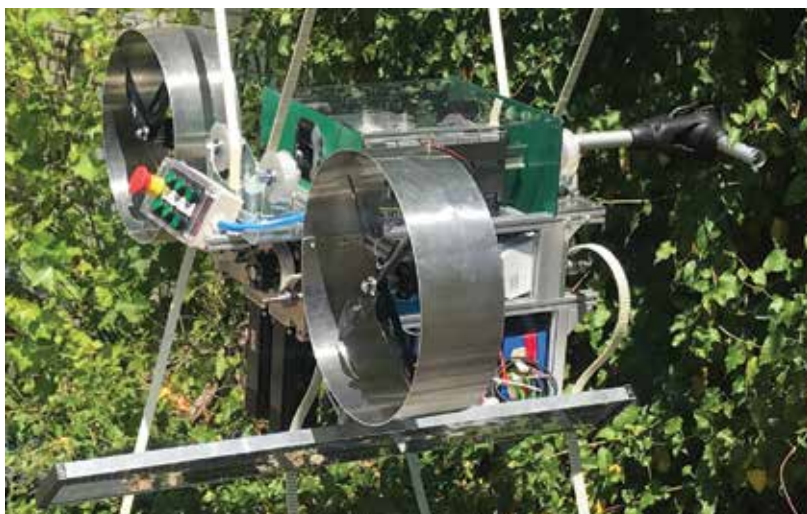
ki je pravokotna na fasado. Tej prostostni stopnji bi se lahko izognili z uporabo več kablov, vendar je usmerjenost stabilizirana in omejena zaradi težnosti. Majhna odstopanja robota okrog te osi so lahko sprejemljiva, če položaj glave orodja lahko ohranja želeni položaj. To je mogoče doseči z nevtraliziranjem vrtenja robota z nameščeno vrtilno osjo za glavo orodja.

Na sliki 3.22 je prikazan dejanski prototip. Vitla za poganjanje jermenic poganjata 400-vatna brezkrtačna motorja na enosmerni tok proizvajalca Nanotec v kombinaciji s polžastimi gonili. Potisk za nadzorovanje razdalje od fasade ustvarjata dva rotorja, ki delujeta v nasprotnih smereh, da ne bi povzročila navora na robotu. Vrtenje glave orodja zagotavlja polžasto gonilo in kabelsko krmiljen zglob 2 DOF Robolink W proizvajalca Igus. Tri vrtilne osi poganjajo koračni motorji. Sistem napaja po meri izdelana litij-ionska baterija z nazivno napetostjo 44,4 V, električnim nabojem 20 Ah in stalnim tokom 100 A. Sistem je krmiljen s procesorjem Raspberry Pi 3 s programsko opremo CODESYS. Razširitvena plošča PiXtend omogoča združljivost z vsemi vhodi in izhodi v industrijskih uporabah. Končna masa je približno 47 kg. Na sliki 3.25 je prikazan prototip na testni lokaciji.

Sistem smo preizkusili na testni lokaciji na Tehnični univerzi v Berlinu. Izvedli smo začetne preizkuse, da bi preverili natančnost premikanja glave orodja. Robot je narisal rdeče oznake na sliki 3.23. Natančnost glave orodja vzporedno s fasado kot posledica kabelsko krmiljenega mehanizma je bila v ciljnem razponu 1 cm. Natančnost pravokotno na fasado kot posledica rotorskega sistema je bila slabša



Slika 3.21: Virtualni prototip robota za vzdrževanje (avtor: Sebastian Schröder)

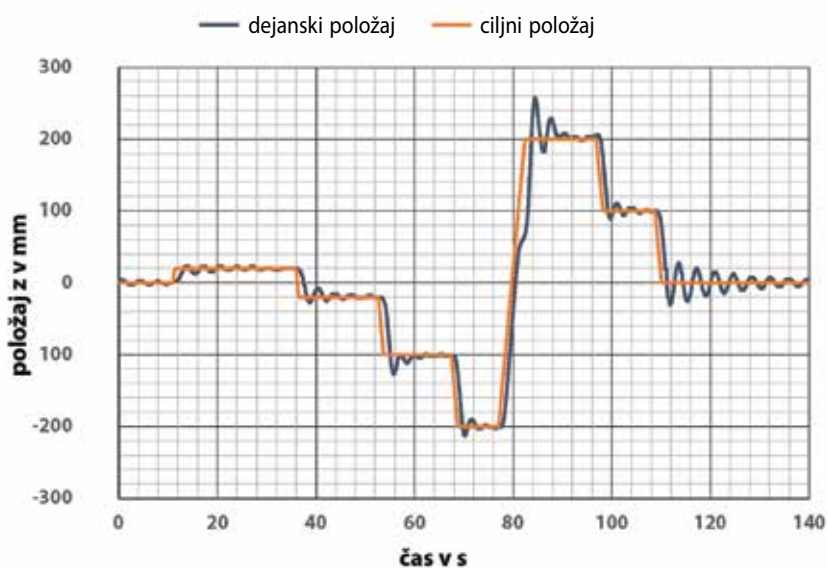


Slika 3.22: Robot za vzdrževanje na testni lokaciji (fotografija: Sebastian Schröder)

od pričakovane. Z optimizirano zasnovo krmilnika smo lahko dosegli naslednjo natančnost pravokotno na fasado. Statična natančnost je prav tako v razponu 1 cm, pri dinamičnih operacijah pa je prihajalo do velikih odstopanj. Poleg tega sta bila poraba energije in hrup rotorskega sistema večja od pričakovanih ter od vrednosti, sprejemljivih pri dejanski uporabi. Dejanske preizkuse smo izvedli z dvema različnima rezalnima orodjema. Z vrtljivo rezalno glavo smo uspešno odrezali spodnji del dresnika (*Fallopia*). Za rezanje zgornjih delov smo morali približno 2 m nad najvišjimi rastlinami na steno namestiti povezovalni nosilec. V času rezanja je zelenje raslo vso sezono in se je razraslo. Robot se je med rezanjem občasno zataknil v rastlinah. To je preprečevalo samodejno delovanje, zato smo ga morali ročno



Slika 3.23: Besedilo kot primer natančnosti robota v smereh x in y (fotografija: Sebastian Schröder)



Slika 3.24: Diagram dejanskega in ciljnega položaja v določenem časovnem obdobju (avtor: Sebastian Schröder)

krmiti. Po prvem rezanju smo uspešno preizkusili cikle samodejnega rezanja. Zelenje je priporočeno rezati večkrat na leto. To omogoča zanesljive postopke samodejnega rezanja in verjetno zagotavlja bolj estetski videz zelenja. S pnevmatskimi škarnji za obrezovanje smo uspešno odrezali posamezne močnejše veje na fasadi.



Slika 3.25: Testna lokacija pred (levo) in po (desno) prvem rezanju (fotografija: Sebastian Schröder)

Kabelsko krmiljen robot še vedno velja za najboljšo rešitev za vzdrževanje velikih zelenih fasad. S prototipom je mogoče obrezati rastline, kot zahteva večina deležnikov. Uravnavanje razdalje od stene prek rotorjev ni izpolnilo pričakovanj. Pri prihodnjih prototipih mora biti glava orodja aktivirana z daljšo linearno osjo, ki je pravokotna na fasado.

6.2 Robot na tirnicah: samodejni transportni sistem za vertikalne zelene stene

Raziskovalna skupina na Tajvanski državni univerzi (NTU) je bila odgovorna za oblikovanje in razvoj pomanjšanega in poenostavljenega ohišja prototipa za preizkušanje in razvoj orodij za pobiranje pridelkov ter oblikovanje sistemov senzorjev in obdelavo podatkov.

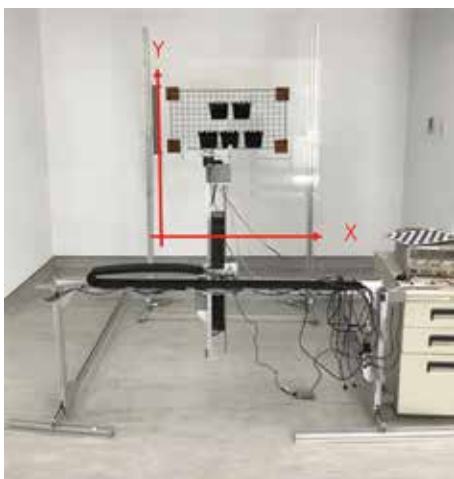
Okrasne cvetoče rastline trenutno predstavljajo večino zasaditve sistemov vertikalnih ozelenitev. V zadnjih letih so bile izvedene uspešne raziskave o možnostih uporabe kmetijskih rastlin za sisteme vertikalnih ozelenitev. V Tajvanu je treba poleg vzdrževanja zelenih sten na gradbiščnih ograjah po zaključeni gradnji zelene stene porušiti. Pred rušitvijo je mogoče z njih pobrati pridelke.

Na podlagi zgoraj navedenega namena smo v tej raziskavi uporabili triosni portalni mehanizem kot platformo strojne opreme za razvoj samodejnega sistema za ravnanje s sadilnimi posodami, ki se uporablja za sisteme vertikalnih ozelenitev. Sistem je opremljen s strojnim vidom in tehnologijami obdelave slik za pomoč celotnemu elektromehanskemu sistemu. Splošne funkcije sistema so postavitve in odstranjevanje visečih loncev in sposobnost menjave uvelih rastlin z visečimi lonci, ko se med rastjo rastline s prepoznavanjem slik ugotovi ovenelost rastlin.

Razvit samodejni sistem za ravnanje s posodami se uporablja za zelene stene, kot je prikazano na sliki 3.26. V poskusu smo uporabili živo steno, ki ima naslednje prednosti: raznovrstne zasaditve, priročno vzdrževanje in upravljanje itd. Na sistem vertikalne ozelenitve smo posadili vrsti tajska bazilika (*Ocimum basilicum* var. *thyrsiflora*) in paprika (*Capsicum annuum*). Triosni portalni mehanizem smo postavili na sprednjem delu zelene stene kot premično platformo sistema za ravnanje s posodami. Model portalnega mehanizma je Farmbot Genesis v1.4. Vodoravna smer gibanja mehanizma je opredeljena kot smer zelene stene x, navpična smer gibanja mehanizma pa kot smer zelene stene y. Mehanizem, ki se premika v smeri x, uporablja sistem zobatega jermena in jermenice, mehanizem, ki se premika v smeri y, pa uporablja sistem z vijaki. Nameščena je spletna kamera, ki se uporablja kot strojni vid za pomoč celotnemu sistemu pri doseganju samodejnega prepoznavanja.

Samostojno zasnovan sistem za obdelavo fotografij v tej raziskavi lahko analizira težišče visečih posod z rastlinami na sistemu vertikalne ozelenitve in to težišče uporabi za pretvarjanje med razdaljo med slikovnimi pikami in dejansko razdaljo, da določi položaj gibanja, ki ga zahteva celotni transportni sistem. Nato je mogoče zagotoviti funkcijo obešanja in samodejnega odstranjevanja posod.

V tej raziskavi smo uporabili model globokega učenja YOLOv3 za pomoč pri razlikovanju med živimi in uvelimi rastlinami. Stopnja prepoznavanja živih rastlin je bila 93,75 %, uvelih pa 66,67 %. Prijemalo presajenih rastlin v posodah je oblikovano tako, da pride štrleči zunanji rob na zgornji strani viseče posode v stik s prijemalom. Mikrokrmilnik Arduino UNO krmili servomotor na levi strani prijemala za vrtenje in zapiranje prijemala. Štrleči zunanji rob viseče posode se dotakne prijemala, manipulator FarmBot pa dvigne celotno posodo in jo sname iz mreže, nato jo premakne na območje postavitve in spusti. Na desni strani prijemala so mikrostikala, ki so namenjena zaznavanju, ali se prijemalo dotika viseče posode, da izravnajo napako v razdalji, ki jo je ocenil strojni vid. Prijemalo presajenih rastlin v posodah je prikazano na sliki 3.27. Skupne dimenzije so: $d = 190 \text{ mm}$ x $\text{š} = 170 \text{ mm}$ x $v = 174 \text{ mm}$.



Slika 3.26: Postavitev zelene stene in portalnega mehanizma (levo, fotografija: Chung-Kee Yeh)



Slika 3.27: Prototip prijemale presajenih rastlin v posodah (desno, fotografija: Chung-Kee Yeh)

Prijemalo presajenih rastlin v posodah lahko dviguje viseče posode s težo do 4,5 kg, stopnja uspešnosti stabilnega vpetja med delovanjem pa lahko doseže več kot 95 %, kar pomeni, da je oblika tega prijemale, ki temelji na načelu dviganja viseče posode, izvedljiva.

6.3 Orodja za vzdrževanje vertikalnih ozelenitev

Razvili smo več orodij za pobiranje pridelkov in obrezovanje rastlin. Vsa razvita orodja za obrezovanje temeljijo na vrtnarskih izdelkih, ki so na voljo na trgu. Zahteve so zelo odvisne od trdnosti vej. Za vzdrževanje zelenih sten sta potrebni dve različni orodji. Eno orodje se uporablja za rezanje številnih tankih vej in listov, drugo pa za rezanje posameznih močnejših vej. V tej knjigi so prikazani samo končni prototipi.

6.3.1 Vrtljiva rezalna glava

Za razvoj orodja za rezanje tankih vej smo preizkusili veliko obrezovalnikov trave in žive meje. Največja težava je, da se posamezne veje zataknejo v rezilo in pogonski sistem. Najboljše rezultate smo dosegli s spremenjeno vrtljivo rezalno glavo proizvajalca Stihl. Njena prednost je majhna verjetnost, da bi med uporabo metalo kamenje v zrak, zato se vse pogostejše uporablja za vzdrževanje običajnih zelenih površin namesto motornih kos. Enota je sestavljena iz dveh krožnih vibrirajočih



Slika 3.28: Spremenjena vrtljiva rezalna glava za rezanje tankih vej in listov (fotografija: Sebastian Schröder).

rezil z nabrušenimi zobmi, ki lahko režejo v vse smeri. Poganjala naj bi jo dolga gred v ročaju. Motor na vrhu ročaja smo uporabili kot protitež. Celotni pogonski sistem smo rekonstruirali zaradi visoke teže in neustreznega položaja vgradnje motorja. Za novi pogonski sistem smo spremenili akumulatorski vrtalnik Bosch GSR 35 in ga prilagodili zobniku vrtljive rezalne glave Stihl (slika 3.28). Rezalno enoto je mogoče prilagoditi vrtljivi glavi večnamenskega robota. Robot z vrtljivo rezalno glavo je mogoče krmiliti ročno z daljinskim upravljalnikom, lahko pa se uporabijo vnaprej konfigurirani programi rezanja.

6.3.2 Škarje za obrezovanje

Za rezanje posameznih vej širine do 20 mm smo pnevmatske škarje za obrezovanje prilagodili za uporabo na robotu (sliki 3.29 in 3.30). Za napajanje enote smo razvili zelo kompakten pnevmatski sistem, sestavljen iz kompresorja, ki se navadno uporablja pri visečih gugalnicah, majhne posode za zrak in ventilskega otoka. Izkazalo se je, da sistem reže veje širine do 20 mm in je primeren za uporabo na robotu samo z ročnim krmiljenjem.

6.3.3 Prijemalo za pobiranje pridelkov

Oblika prijemala za pobiranje pridelkov omogoča, da rezalnik pridobi dovolj kinetične energije za rezanje na majhnem prostoru, postopek vpenjanja pa ne zahteva povratnega senzorja. Premikanje mehanizma je poenostavljeno s tričlenskimi mehanizmom z vezmi višjega razreda, ki tvorijo odprto verigo, za poganjanje



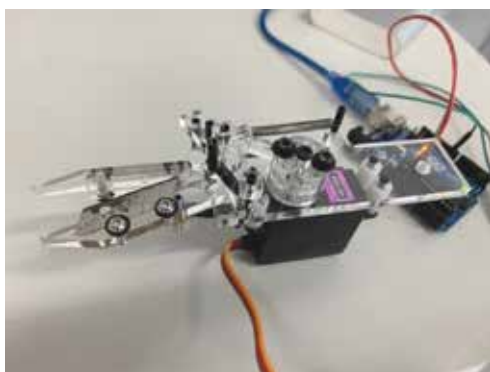
Slika 3.29: Škarje za obrezovanje, nameščene na robota (fotografija: Sebastian Schröder)



Slika 3.30: Škarje za obrezovanje med preizkusnim rezanjem (fotografija: Sebastian Schröder)

mehanizma pa se uporablja servomotor. Mehanizem je opremljen tudi s kladi-vom za prenos rotacijske kinetične energije, ki skrajša širino sprednjega dela, ko se klešče odprejo, hkrati pa ohranja prvotno obliko rezanja in zmogljivost vpenjanja. Kot sprednjega roba prijemala omogoča premikanje stebel in listov na obe strani, ko prijemalo doseže rastlino. Pritrdilni elementi so vzmetni zatiči, ki zagotavljajo večjo trpežnost. Prijemalo za pobiranje plodov je prikazano na sliki 3.31. Skupne dimenzije so: $d = 155 \text{ mm} \times \text{š} = 41 \text{ mm} \times v = 70 \text{ mm}$.

Prototip prijemala za pobiranje plodov lahko po ocenah ustvari 42 mJ kinetične energije za rezanje. Po predhodnih preizkusih pobiranja plodov smo ugotovili, da je treba odpiranje prijemala za pobiranje plodov in pogonske odmične gredi



Slika 3.31: Prototip prijemala za pobiranje plodov (fotografija: Sebastian Schröder)



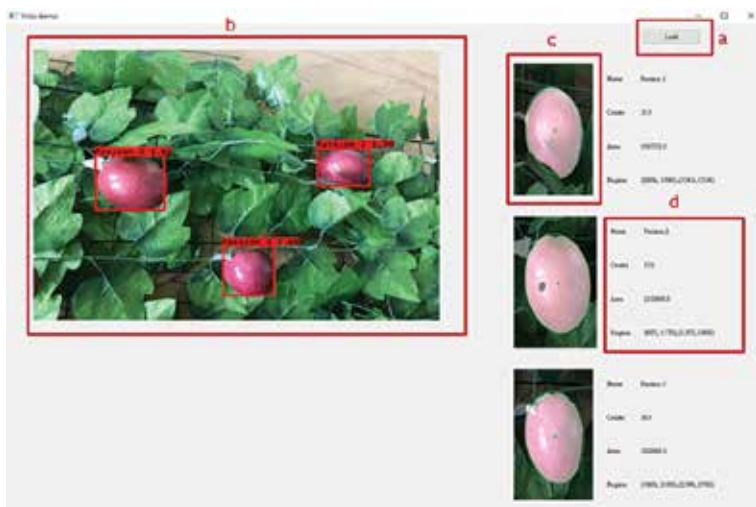
Slika 3.32: Stenski model pasijonke (levo, fotografija: Chung-Kee Yeh)

Slika 3.33: Mejni okvir pasijonke (desno, fotografija: Chung-Kee Yeh)

upravljati ločeno ter da je mogoče širino odpiranja omejiti na manjši obseg. Kot vrtenja aktivne odmične gredi se prilagodi na kraju samem, in sicer na 56° pri odpiranju, 40° pri sproščanju in 100° pri ponastavitvi. Povprečna življenjska doba tega prijemala za pobiranje plodov lahko doseže 361,6 uporab.

6.4 Informacijska tehnologija za vzdrževanje sistemov vertikalnih ozelenitev

V okviru projekta smo uporabili globoko učenje za prepoznavanje slik sadja na sistemih vertikalnih ozelenitev. Pred uvedbo stroja za samodejno pobiranje plodov mora stroj videti ali zaznati sadje. V tej raziskavi smo na sistemu vertikalne ozelenitve uporabili pasijonko, ki je primerna za rast v tajvanskem podnebju in za vertikalne ozelenitve. Poleg tega smo opravili določanje položaja, izračun velikosti in števila sadežev ter zaznavanje mejnih kontur, da lahko stroj prepozna sadje in zelenjavo. Model pasijonke, model vinske trte in železni okvir smo uporabili

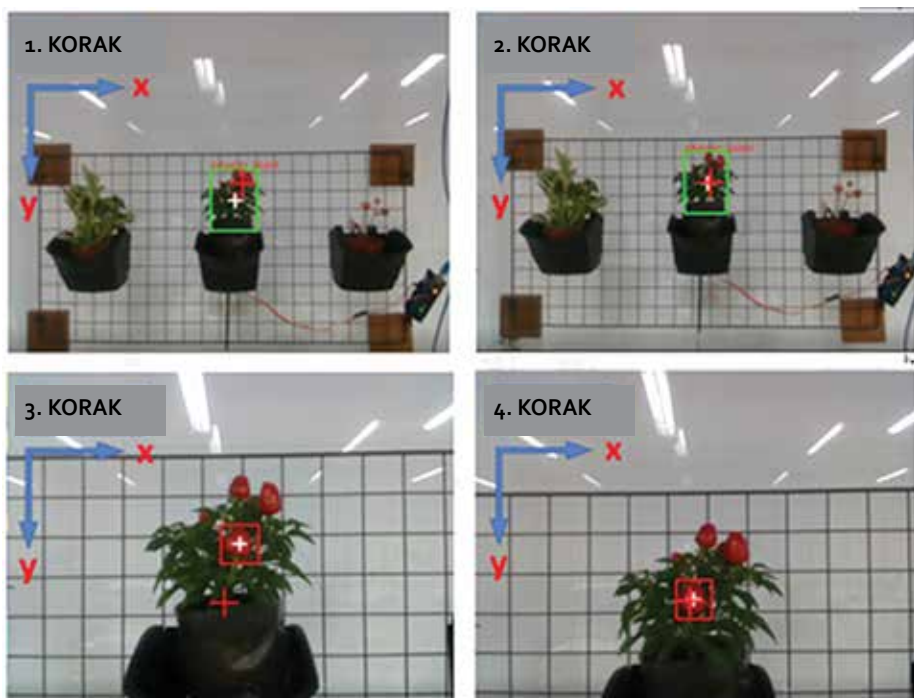


Slika 3.34: Funkcijska vrstica in prikaz grafičnega uporabniškega vmesnika po uvozu slik (fotografija: Chung-Kee Yeh)

za simulacijo pasijonk, ki rastejo na sistemu vertikalne ozelenitve. Stenski model pasijonke pri tem poskusu je prikazan na sliki 3.32. Preizkusno sliko smo vnesli v naučen model YOLO v3, izpisan pa je bil mejni okvir, kot je prikazano na sliki 3.33. Da bi bila slika bolj berljiva, se slika blizu izvirnega območja mejnega okvirja združi s sliko po obdelavi slike, središčna točka pa je najdena znotraj obsega obrisa in prikazana na vmesniku človek-stroj, kot je prikazano na sliki 3.34.

Značilnosti te raziskave so: (1) Po izboljšanju algoritma YOLO v3 je mogoče uokviriti celotni sadež. (2) Obstaja približno tristo gradiv za učenje, ki lahko zagotavljajo dobre rezultate pri modelu globokega učenja YOLO v3. (3) To metodo je mogoče učinkovito uporabiti pri sistemu pobiranja plodov na sistemu vertikalne ozelenitve za doseganje funkcij prepoznavanja sadežev, izračuna števila sadežev in natančnega določanja položaja središčne točke sadeža, kar omogoča strojni vid. (4) Povprečna natančnost prenosnega učenja je 97,93 %, čas za učenje modela pa je razmeroma kratek. (5) Ta poskusni postopek je zelo vsestranski, zato se lahko po pričakovanih uporablja za prepoznavanje drugih sadnih rastlin, kot so pomaranča, jagoda, mango itd.

Še en primer uporabe globokega učenja pri robotih za sisteme vertikalnih ozelenitev je prepoznavanje slik in pobiranje pisanih paprik, ki večinoma temelji na strojnem vidu za prepoznavanje ciljnega predmeta ter izvaja naloge pobiranja plodov s triosnim robotom. Komponenta prepoznavanja slik vključuje učenje modela »rastlin z zreliimi pisanimi paprikami« prek sistema YOLO v4 in uporabo



Slika 3.35: Postopek prepoznavanja za pobiranje plodov (fotografije: Chung-Kee Yeh)

prepoznavanja slik za analizo posameznih značilnosti za prepoznavanje zrelih pisanih paprik. Za krmiljenje pobiranja plodov se večinoma uporablja servo krmiljenje na podlagi slik za določanje položaja prepoznanih pisanih paprik. Globinski podatki o ciljni papriki se preberejo z globinsko kamero, naloga pobiranja plodov pa se izvede s krmiljenjem z odprto zanko.

Postopek prepoznavanja vseh plodov je prikazan na sliki 3.35. Strategija pobiranja je, da se najprej poišče rastlina s plodovi pisanih paprik, ki je najbližje ravnini robotskega prijemala in predstavlja prvi cilj, nato se robot počasi približa rastlini in z globinsko kamero prebere globinske podatke o papriki, izbere plod z najbližjimi globinskimi podatki kot prvi ciljni plod ter ga na koncu pobere z uporabo servo krmiljenja na podlagi slike.

V dobrem poskusnem okolju je stopnja uspešnosti 85,3 % za prepoznavanje rastlin paprike in 100 % za prepoznavanje plodov paprik, če se te ne prekrivajo, kar otežuje prepoznavanje, in če listi ne zakrivajo plodov, kar povzroča težave pri pobiranju. Stopnja uspešnosti pobiranja plodov je bila 76,7 %.

VIRI IN LITERATURA

BMK (Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie) (2020): *Green Market Report Kompakt. Bauwerksbegrünung in Österreich (Zahlen, Daten, Fakten)*. Dosegljivo na: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe-2020-27-green-market-report-kompakt.pdf (sneto 18. 10. 2021).

Cross, K., Tondera, K., Rizzo, A., Andrews, L., Pucher, B., Istenič, D., Karres, N., in McDonald, R. (2021): *Nature-based solutions for wastewater treatment*. London, IWA Publishing.
DOI: 10.2166/9781789062267

DIN EN 13041 (2012): *Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate - Bestimmung der physikalischen Eigenschaften - Rohdichte (trocken), Luftkapazität, Wasserkapazität, Schrumpfungswert und Gesamtporenvolumen*.

Dunnett, N., in Kingsbury, N. (2008): *Planting green roofs and living walls*. Portland, Oregon, Timber Press.

DWA-M 277 (2017): *Notes on the design of plants for the treatment and use of*. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V, Germany.

EPA (United States Environmental Protection Agency) (2000): EPANET 2.0 (računalniška programska oprema). Cincinnati, Ohio, ZDA. Dosegljivo na: <https://www.epa.gov/water-research/epanet> (sneto 18.10.2021).

Köhler, M., Barth, G., Brandwein T., Gast, D., Joger, H. G., Seitz, U., in Vowinkel, K. (1993): *Fassaden- und Dachbegrünung*. Stuttgart, Eugen Ulmer GmbH & Co.

Langergraber, G., Castellar, J. A. C., Pucher, B., Baganz, G. F. M., Milosevic, D., Andreucci, M. -B., Kearney, K., Pineda-Martos, R., in Atanasova, N. (2021): A framework for addressing circularity challenges in cities with nature-based solutions. *Water*, 13(2355). DOI: 10.3390/w13172355

MA 22 (ur.), Kraus, F., Fritthum, R., Robausch, E., Scharf, B., Preiss, J., Enzi, V., idr. (2019): *Leitfaden Fassadenbegrünung*. Wien, MA 22. Dosegljivo na: <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/fassadenbegruenung.html> (sneto 18. 10. 2021).

ÖNORM EN 16941-1 (2018): *On-site non-potable water systems—Part 1: Systems for the use of rainwater*. Dunaj, Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN 16941-2 (2018): *On-site non-potable water systems—Part 2: Systems for the use of greywater*. Dunaj, Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM B2606-1 (2009): *Sportplatzbeläge – Teil 1: Naturrasen*. Dunaj, Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM B 2506-3 (2016): *Regenwasser-Sicker- anlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen, Teil 3: Filtermaterialien: Anforderungen und Prüfmethoden*. Dunaj, Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM L 1086-1 (2014): *AD. Chemische Bodenuntersuchungen - Extraktion der effektiv austauschbaren Kationen Ca^{++} , K^+ , Mg^{++} , Na^+ sowie Al^{+++} , Fe^{+++} , Mn^{++} und H^+ mit Bariumchlorid-Lösung und Ermittlung der Austauschkapazität*. Dunaj, Österreichisches Normungsinstitut.

Ottelé, M., Perini, K., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., in Raiteri, R. (2011): Comparative life cycle analysis for green facades and living wall systems. *Energy Build.*, 43, str. 3419–3429. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.09.010

Pfoser, N. (2016): *Fassade und Pflanze: Potentiale einer neuen Fassadengestaltung*. Doktorska naloga. Darmstadt, TU Darmstadt. Dosegljivo na: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/5587/> (sneto 13. 10. 2021).

Prenner, F., Pucher, B., Zluwa, I., Pitha, U., in Langergraber, G. (2021): Rainwater use for vertical greenery systems: Development of a conceptual model for a better understanding of processes and influencing factors. *Water*, 13(1860). DOI: 10.3390/w13131860

Pucher, B., Zluwa, I., Sp rl, P., Riberio, G., Pitha, U., in Langergraber, G. (2020): Entwicklung eines multifunktionalen Living-Wall-Systems zur Reinigung und Nutzung von Grauwasser. *Wasser und Abfall*, 7-8.

Reisinger, M., Bregler, K., in Kraus, N. (2019): *Handout green wall robot. Green Wall Robot – automated, smart green facades*. Fraunhofer IPA. Dosegljivo na: https://www.ipa.fraunhofer.de/en/reference_projects/Green_wall_robot.html (sneto 19.10.2019).

Schmal, P. (2017): *Facade greening for the production of biomass – an energy balance*. Magistrsko delo. Berlin, Tehni na univerza v Berlinu.

Schön, H., Auernhammer, H., Bauer, R., Boxberger, J., Demmel, M., in Estler, M. E. (1998): *Landtechnik, Bauwesen. Verfahrenstechnik - Arbeit - Geb ude - Umwelt*. Unter Mitarbeit von Hans Schön. 9., völlig Neubearb. und erw. Aufl. Münster-Hiltrup, BLV-Verlagsgesellschaft.

Sekaran, V. (2015): *Exterior green wall design*. Mulgrave, Victoria, The Images Publishing Group.

Stadt Wien (2020): *Wien Kulturgut: Architektur*. Dostopno na: <https://www.wien.gv.at/kultur/kulturgut/architektur/index.html> (sneto 18.10.2021).

Uredba (EU)  t. 2020/741 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 25. maja 2020 o minimalnih zahtevah za ponovno uporabo vode. Uradni list Evropske unije L 177, str. 32–55.

Wilkinson, S., Carmichael, M., in Khonasty, R. (2021): *Towards smart green wall maintenance and Wallbot technology*. Bingley, Emerald Publishing Limited.



Ozelenitev zidu s sistemom panelne žive stene ob otroškem igrišču Mala ulica v Ljubljani (fotografija: arhiv Urbanističnega inštituta RS)



4. del

SISTEMI VERTIKALNIH OZELENITEV IN OMREŽJE POVEZAV HRANA–VODA–ENERGIJA

Karin A. Hoffmann^a, Bernhard Pucher^b, Irene Zluwa^c, Flora Prenner^b,
Thomas Nehls^a

^a Oddelek za ekohidrologijo in vrednotenje krajin, Inštitut za ekologijo,
Tehnična univerza v Berlinu, Berlin (TUB), Nemčija

^b Inštitut za sanitarni inženiring in nadzor onesnaževanja vode, Univerza
za naravne vire in življenjske vede (BOKU), Dunaj, Avstrija

^c Inštitut za bioinženiring tal in krajinsko gradnjo, Univerza za naravne
vire in življenjske vede (BOKU), Dunaj, Avstrija

4. del Sistemi vertikalnih ozelenitev in omrežje povezav hrana–voda–energija

1	Uvod	125
	<i>Bernhard Pucher, Karin A. Hoffmann, Irene Zluwa, Thomas Nehls</i>	
2	Potenciali za proizvodnjo hrane in biomase	126
	<i>Karin A. Hoffmann, Irene Zluwa, Bernhard Pucher, Thomas Nehls</i>	
2.1	Hmelj – <i>Humulus lupulus</i>	127
2.2	Fižol – <i>Phaseolus coccineus</i>	128
2.3	Vinska trta – <i>Vitis vinifera</i>	128
2.4	Plodovi, zelišča in zelenjava	131
3	Voda	133
	<i>Bernhard Pucher, Flora Prenner, Karin A. Hoffmann, Thomas Nehls</i>	
3.1	Poraba vode za sistem vertikalne ozelenitve	135
3.2	Študija primera na univerzi TUB	136
3.3	Študija primera na univerzi BOKU	140
3.4	Modeliranje in simulacija potrebe po vodi za zelene fasade	144
4	Energija	150
	<i>Karin A. Hoffmann, Bernhard Pucher, Thomas Nehls</i>	
4.1	Spremljanje učinkov hlajenja sistemov vertikalnih ozelenitev	150
4.2	Modeliranje in simulacija učinkov hlajenja sistemov vertikalnih ozelenitev	157
	Viri in literatura	163

1 Uvod

Koncept oziroma omrežje povezav hrana–voda–energija (H–V–E) ustvarja jasno usmeritev za razumevanje posameznih medsebojno povezanih področij (Hoff, 2011), ki jih projekt Vertical Green 2.0 zajema. Ta interdisciplinarni, celostni pogled naj bi omogočil usklajeno, daljnosežno naravnost za doseganje trajnostnega razvoja. Koncept bi moral temeljiti na skladnosti, učinkovitosti in zadostnosti virov. Kar pomeni, da bi moral stremeti k povečanju varnosti oskrbe s hrano, vodo in energijo ob upoštevanju povezav znotraj teh posameznih področij in med njimi (Howarth in Monasterolo, 2016; Avellan idr., 2017).

Soodvisnosti med področji oskrbe s hrano, vodo in energijo je mogoče opredeliti na različnih ravneh. Ta vidik je opazen tudi na ravni stavb, saj njihovi prebivalci potrebujejo oskrbo s hrano, pitno vodo, ustrezno komunalno infrastrukturo in oskrbo z energijo. S prepoznavanjem teh soodvisnosti se lahko določijo nekatera načela oblikovanja in upravljanja za izvedbo na naravi temelječih rešitev, zlasti sistemov vertikalnih ozelenitev. Sisteme vertikalnih ozelenitev je mogoče oblikovati in upravljati kot ločene sisteme oziroma dodatke k stavbam ali pa so vključeni v obstoječe procesne verige na področju oskrbe s hrano, vodo in energijo ter jih v najboljšem primeru optimizirajo, s čimer uresničijo abstraktni koncept povezave H–V–E. Za doseganje tega cilja na ravni stavb je bistvena uporaba drugače »neizkoriščenih« virov.

Razvoj rastlin je odvisen od razpoložljivosti vode, hranil in sončne svetlobe. Stavbe kot funkcionalne enote v mestu proizvajajo odpadno vodo, s čimer povzročajo izgubo vode in hranil ter s svojih površin v okolico oddajajo toploto, ki nastaja pri absorpciji kratkovalovnega sončnega sevanja. Te (za mesto neugodne) tokove je mogoče izkoristiti in oslabiti s sistemi vertikalnih ozelenitev za proizvodnjo biomase ali hrane, na primer grozdja, hmelja, sadja, zelenjave in zelišč, kot je obravnavano v okviru tega projekta.

Voda (njena kakovost in dostopnost) je ključnega pomena za ljudi in globalni ekosistem. V Evropi se 21 % odvzete vode uporablja za kmetijstvo, 57 % za industrijo in 22 % za občine (Aquastat, 2015). Do leta 2050 se zaradi rasti prebivalstva in urbanizacije pričakuje 50-odstotno povečanje potrebe po vodi (OECD, 2012). Izvajanje urbanih ozelenitev naj bi povečalo potrebo po vodi v mestih. Za namakanje se trenutno uporablja sladka ali vodovodna voda. Zaradi okrepljenih prizadevanj za spremembo paradigme v smeri načel krožnega gospodarstva pri upravljanju voda v mestih in spodbujanje praks ponovne uporabe vode je trajnost take prakse postavljena pred preizkušnjo (Pearlmutter idr., 2021).

Kar zadeva energijo, je prispevek stavbnega in gradbenega sektorja h končni porabi energije (36 % v letu 2018) in emisijam ogljikovega dioksida, ki so povezane z energijo in procesi (39 % v letu 2018), eden od največjih na svetu. Proizvodnja gradbenih materialov, kot so jeklo, cement in steklo, povzroči 11 % emisij ogljika, povezanih s procesi (IEA, 2019).

Grajeno okolje zaradi velikega deleža vertikalnih površin, neprepustnih površin z malo ali brez vegetacije, uličnih »kanjonov« in prevladujoče uporabe nepropustnih materialov pripomore k vzpostavitvi mestne klime, ki se razlikuje od klimatskih razmer v okolici oziroma odprtem ali podeželskem prostoru. V mestih opazimo višje temperature zraka, manjše relativne vlažnosti in nižje hitrosti vetra (Endlicher, 2012). Poleti lahko mestni toplotni otoki povzročijo toplotno obremenitev tako v zaprtih prostorih kot na prostem (Oke, 1982) ter tako povečajo obolevnost in smrtnost zaradi visokih temperatur (D'Ippoliti, 2010). Sangiorgio in sodelavci (2020) poudarjajo pomembnost različne pokrovnosti tal in ozelenitev v mestih za zmanjšanje intenzivnosti mestnih toplotnih otokov. Ozelenitev fasad kot na naravi temelječa rešitev v mestih pomaga nevtralizirati poletno toplotno obremenitev, saj hladi površine stavbe in jo je mogoče uporabiti tudi za zmanjšanje obratovalne energije, zlasti med sezono hlajenja (Perez, 2014).

V tem poglavju predstavljamo zmožnosti sistemov vertikalnih ozelenitev ob upoštevanju omrežja povezav hrana–voda–energija tako, da prispevajo k proizvodnji hrane in biomase ter čiščenju in ponovni uporabi vode za zmanjšanje izčrpavanja sladke vode in porabe energije.

2 Potenciali za proizvodnjo hrane in biomase

Ena od glavnih ovir, izpostavljena na razpravah z deležniki o ozelenitvi fasad, je nerešen problem stroškov za vzdrževanje, obrezovanje in odstranjevanje odpadne biomase (Kühle, 2020). Rosasco in Perrini (2013) sta na primer za odstranjevanje bioloških odpadkov pri obrezovanju izračunala strošek 31 EUR na m². Kar je nesmiselno, če biomaso obravnavamo kot energetske vir. Potencialna proizvodnja biomase pri sistemih vertikalnih ozelenitev je premajhna, da bi bila pomembna za pretvorbo energije na ravni stavb (Schmal, 2017). Bolj smiselno je proizvajati koristne izdelke, kot so vlakna, farmacevtski izdelki ali hrana.

Sisteme vertikalnih ozelenitev je mogoče uporabiti za proizvodnjo raznovrstnih živilskih izdelkov. Vzpenjavke (npr. vzpenjavke, ki ne potrebujejo opore, vzpenjavke z oprijemalnimi koreninami, vzpenjavke z viticami ali brez njih, vzpenjavke, ki se

razširijo po površini s pomočjo različnih poganjkov; glej 3. del) ne zajemajo posamezne družine rastlin, temveč sestavljajo takson, ki temelji na rastlinski morfoloiji. Vzpenjavke lahko najdemo v številnih družinah rastlin, vključno z nekaterimi, ki so pomembne za prehrano ljudi, kot so na primer hmelj (*Humulus lupulus*), fižol (*Phaseolus*), vinska trta (*Vitis vinifera*) in tudi nekatere sorte paradižnika (*Solanum lycopersicum* var. *Himmelsstürmer*), robida (*Rubus sp.*) in kivi (*Actinidia sp.*). Poleg tega žive stene omogočajo veliko priložnosti za gojenje užitnih rastlin. Ali proizvodnja, integrirana s sistemi vertikalnih ozelenitev, predstavlja možnost za urbano vrtnarjenje in kmetijstvo? Pri tem projektu smo raziskovali potencial za proizvodnjo hrane v Berlinu (Nemčija) in na Dunaju (Avstrija). Na poskusni steni z zahodno orientacijo v središču mesta v kampusu univerze TU Berlin smo postavili žive stene in spremljali njihovo proizvodnjo biomase v letih 2020 in 2021. Sistemi so zajemali osem sadilnih posod s prostornino 1 m³, v katerih so bili posajeni hmelj, fižol, vinska trta in plezajoča dresen, ki je bila uporabljena kot neživilska referenca po Schmalu (2017).

2.1 Hmelj – *Humulus lupulus*

Navadni hmelj (*Humulus lupulus*) je zelnata trajna vzpenjavka in ena od najdražjih kmetijskih rastlin. Del rastline, ki je nad zemljo, jeseni odmre, spomladi pa iz lesnatih korenin zrastejo novi poganjki. Rastline hmelja v naravnem okolju uporabljajo druge grme ali drevesa kot oporo. V kmetijstvu se za optimalno obiranje uporabljajo okvirji ali vrvi višine od 5,5 do 7,5 m. Cvetovi ženske rastline hmelja se uporabljajo kot aroma in konzervans za pivo. Pridelava hmelja za pivovarne je razširjena na severni in južni polobli med 35° in 55° zemljepisne širine, kjer sezonske spremembe osončenosti omogočajo cvetenje. Večina kmetijskih površin, ki se uporabljajo za pridelavo hmelja, je v Nemčiji in ZDA (60 % vseh površin) (Lfl, 2011).

Študenti s Tehnične univerze v Berlinu (Technische Universität Berlin – TUB) so leta 2018 razvili idejo in prototip proizvodnje hmelja na fasadah – integrirano ozelenitev fasade in urbano pridelavo hmelja (s financiranjem združenja Climate-KIC Berlin) Zaradi težav s kakovostjo hmelja izbrana pivovarna pridelanega hmelja ni uporabila za proizvodnjo piva. Na Dunaju je bilo v okviru umetniškega projekta zvarjeno pivo lokalne znamke z aromo hmelja, ki je rasel na prazni parkirni hiši (Gbstern, 2019).

Na poskusnem stojalu na univerzi TU Berlin (slika 4.1) so vrvi iz konoplje omogočale rast rastlin do višin 8,5 in 11,75 m leta 2020 ter do višine 8,5 m leta 2021. Na steni širine 3 m je bilo v začetku oktobra 2020 pridobljene približno 5,9 kg mo-kre biomase, kar je enakovredno 578 g suhe biomase (posušene pri 105 °C). Med

vegetacijskim obdobjem (ki se je začelo v začetku ali konec marca 2020 in 2021) je pojav škodljivcev (listnih uši leta 2020 in pršic prekl leta 2021) bistveno vplival na vitalnost listov hmelja in posledično na celotno rast.

2.2 Fižol – *Phaseolus coccineus*

Laški fižol (*Phaseolus coccineus*) je zelnata vzpenjavka, ki lahko doseže višino 2–4 m, včasih pa tudi do 7 m. Je enoletnica, ki raste v srednji Evropi, na območjih s toplejšim podnebjem pa je lahko tudi trajnica. Seje se maja in je hitro rastoča vzpenjavka s svetlo rdečimi cvetovi, iz katerih zrastejo stroki fižola dolžine približno 20–25 cm. Lahko se uporablja kot okrasna rastlina ali za proizvodnjo hrane. Na poskusnem stojalu na univerzi TU Berlin sta bili doseženi največji višini 3,3 m (2020) in 7 m (2021), na steni širine 1,5 m pa je bilo pobranega 1 kg suhega fižola leta 2020 in 1,7 kg suhega fižola leta 2021.

Junija in julija so se rastline fižola okužile s črno fižolovo ušjo (*Aphis fabae*), ki jo pogosto najdemo na rastlinah fižola (slika 4.2). Uporaba koristnih žuželk, kot so sedempikčaste polonice (*Coccinella septempunctata*), bi lahko zmanjšala širjenje uši, ne more pa ga ustaviti.

2.3 Vinska trta – *Vitis vinifera*

Kot opisuje Korb (2018), je Berlin primerno mesto za gojenje vinske trte zaradi višjih temperatur kot posledice učinka mestnega toplotnega otoka, manjše nevarnosti zmrzali in daljših vegetacijskih obdobj v primerjavi z okolico mesta. Vendar pa se lahko zaradi manj ugodne orientacije stene in okoliških stavb osončenost tako zmanjša, da lokacija ne izpolnjuje potreb rastline. Ker je letna količina padavin približno 600 mm, je na voljo dovolj vode za namakanje. Vendar bi bilo zaradi heterogenih vzorcev padavin v središču mesta in na fasadi (vetrna stran v primerjavi z zavetrno stranjo fasade) ter heterogene sposobnosti zadrževanja vode urbanih tal treba razmisliti o dodatnem namakanju (Korb, 2018). Na mestu preizkušanja v Berlinu smo posadili vinski trti v dve posodi. V obeh nadzorovanih vegetacijskih obdobjih v letih 2020 in 2021 so mimoidoči sprehajalci spomladi popolnoma obrali (potrgali) liste na vinskih trtah, predvidoma za osebno porabo. Zaradi tega sta se rast rastlin in pridelava grozdja zmanjšali, prav tako pa ni bilo mogoče količinsko opredeliti potenciala za proizvodnjo biomase. Vseeno se zdi, da je pridelava listov vinske trte dodatna priložnost za proizvodnjo hrane, ki jo lahko skupnosti v Berlinu razvijajo. Nekatere sorte (npr. Callastra) imajo posebej velike liste in nimajo dlačic na zadnji strani listov, zato so primerne za uporabo v prehrani.



Slika 4.1 Navadni hmelj spomladi (levo) in poleti (na sredini) ter obrani cvetovi (desno) (fotografije: Karin A. Hoffmann)



Slika 4.2: Strok fižola na testni lokaciji na univerzi TU Berlin (levo), rastlina fižola, okužena s črno fižolovo ušjo (*Aphis fabae*), z ličinko sedempikčaste polonice (*Coccinella septempunctata*) (na sredini), pobrani fižol (desno) (fotografije: Karin A. Hoffmann)



Slika 4.3: Vinska trta na testni lokaciji na univerzi TU Berlin junija 2020 (fotografija: Karin A. Hoffmann)

Rubino (2019) je na podlagi modela ovojev stavb, ki uporabljajo sončno energijo (Solar Energy Building Envelopes – SEBE), oblikoval metodo opredelitve območij, ki bi se potencialno lahko uporabljala za proizvodnjo vinske trte. Določil je primerne vertikalne površine za rast vinske trte na območju približno 1,8 km² v središču Berlina (slika 4.4).

Rastna sezona se določi glede na število zaporednih dni, ko je izmerjena temperatura višja od mejne temperature med letom. Poleg tega vinska trta potrebuje določeno število ur osončenosti in sončnega obsevanja, ki je v mestu lahko zelo različno, saj je odvisno od orientacije sten in okoliških ovir. Ob upoštevanju zahtev glede sončnega obsevanja je Rubino (2019) določil skupno primerno območje za navedeno okrožje z vertikalno površino 229.902 m² in 143.258 m². Vendar je trenutno stanje glede vertikalne proizvodnje hrane na fasadah bolj hipotetično, zlasti zaradi težav z dostopom, ki je nujen za obiranje pridelka, ter zaradi omejenega prostora za korenine.



Slika 4.4: Preučevano območje po Rubinu (2019) za potencialne vertikalne površine za rast vinske trte (OSM, 2021) (vir: ©Sodelavci OpenStreetMap)

2.4 Plodovi, zelišča in zelenjava

Na Univerzi za naravne vire in življenjske vede na Dunaju (BOKU) je eno rastno sezono deloval prototip »vertikalnega vrta« (slika 4.5). Vrste rastlin so bile izbrane glede na tradicionalne vrtove v Avstriji ter so vključevale špalirna drevesa (jablana (*Malus sp.*), hruška (*Pyrus sp.*)), zelenjavo (vrtna solata (*Lactuca sativa*), paradižnik (*Solanum lycopersicum*), oljna buča (*Cucurbita pepo*), paprika (*Capsicum annuum*)), zelišča (drobnjak (*Allium schoenoprasum*), poprova meta (*Mentha × piperita*), baldrijan (*Valeriana officinalis*), vrtni šetraj (*Satureja hortensis*)), sadje (jagoda (*Fragaria × ananassa*), perujsko volčje jabolko (*Physalis peruviana*)) in užitne cvetlice (vrtni ognjič (*Calendula officinalis*), boraga (*Borago officinalis*), maslenica (*Hemerocallis*), velika kapucinka (*Tropaeolum majus*), navadna sončnica (*Helianthus annuus*)).

»Vertikalni vrt« je privlačen na pogled (slika 4.5) in je poleti razvil močno pokrovnost (rastlinska odeja), vendar je bilo malo pridelka zlasti zaradi slabe dostopnosti. Za pobiranje vsake posamezne jagode je bilo treba premikati težko lestev. Za



Slika 4.5: Lestev za dostop do sistema vertikalne ozelenitve na Univerzi za naravne vire in življenjske vede na Dunaju (BOKU) (fotografija: Irene Zluwa)



Slika 4.6: Lastno izdelan sistem na Univerzi za naravne vire in življenjske vede na Dunaju (BOKU) (fotografija: Andreas Berger)

zasebno urbano kmetovanje (vrtnarjenje) je treba sisteme vertikalnih ozelenitev zmanjšati na višino, ki je lahko dosegljiva.

Za preizkušanje možnosti urbanega kmetovanja majhnega obsega je bil kot del magistrske naloge postavljen in raziskan lastno izdelan sistem, sestavljen iz preprostih stojal z običajnimi koriti in zemljo (slika 4.6). Pridelek za leto 2019 na m² je obsegal 5.570 g paradižnikov (*Lycopersicon esculentum* »Gelbe Birne«), 966 g drobnjaka (*Allium schoenophrasum*), 282 g vrtno solate (*Lactuca sativa* L. var *crispa*), 2.476 g rdeče paprike (*Capsicum annuum* »Blockpaprika rot«), 253 g jagod (*Fragaria ananassa*) in 410 g rožmarina (*Rosmarinus officinalis*) (Berger, v tisku). Pridelek zelenjave (paradižnika in paprike) na lastno izdelanem sistemu vertikalne ozelenitev je bil približno za polovico manjši od pridelka, ki bi ga bilo mogoče proizvesti s tradicionalnimi načini kmetovanja. Rešitve, kot so lastno izdelan sistem stojal, omogočajo urbano kmetovanje na sistemih vertikalnih ozelenitev na majhnih površinah, kot so balkoni.

Ena možnost za proizvodnjo v večjem obsegu na živi steni oziroma živi steni s sistemom uporabe sadilnih posod bi lahko bila gojenje zelišč (npr. kraški šetraj (*Satureia montana*), timijan (*Thymus officinalis*), žajbelj (*Salvia officinalis*) in rožmarin (*Salvia rosmarinum*)), ki bi jih bilo treba obrezati samo enkrat na leto in bi jih bilo mogoče vzdrževati skupaj z drugimi rastlinami. Pri demonstracijskem sistemu na univerzi BOKU je bil povprečni pridelek (sveža biomasa) na rastlino 134 g za



Slika 4.7: Vertikalni vrt na Univerzi za naravne vire in življenjske vede na Dunaju (BOKU) (fotografija: Irene Zluwa)

vodno meto (*Mentha aquatica*), 23 g za drobnjak (*Allium schoenophrasum*), 18 g za rožmarin (*Rosmarinus officinalis*), 13 g za vrtni timijan (*Thymus vulgaris*), 40 g za kraški šetraj (*Satureja montana*) in 13–50 g za žajbelj (*Salvia officinalis*), odvisno od količine namakanja (Braunegger, 2021).

3 Voda

Za splošna priporočila o zasnovi namakanja glejte 3. del.

Sistemi vertikalnih ozelenitev se na splošno izvedejo znotraj ovoja stavbe. V tem obsegu se voda za namakanje v glavnem črpa iz infrastrukture za oskrbo z vodo-vodno vodo (Prenner idr., 2021). V znanstveni literaturi je velik poudarek na potrebi po vodi in zagotavljanju trajnostnih praks namakanja za zagotavljanje delovanja sistemov vertikalnih ozelenitev, pri čemer ima dejanski vodni vir le manjšo vlogo (Segovia-Cardozo idr., 2019; Prenner idr., 2021). Pri tem je bistvena uporaba deževnice. Sanchez-Resendiz in sodelavci (2018) so predstavili izvedbo sistema vertikalne ozelenitve v polnem obsegu za raziskovanje toplotne energije na ravni stavb v Mehiki. Ugotovili so, da zbiranje deževnice na kraju samem ne zadostuje in da je treba vključiti druge vire, ki so del trajnostne prakse, na primer ponovno uporabo odpadne vode. Pearlmutter in sodelavci (2021) so uporabili procesni model za simulacijo potrebe po vodi za sisteme vertikalnih ozelenitev, ki so zasajeni s travo, ter precej preprost model za napovedovanje odtekanja deževnice s streh za tipične stavbe v Københavnu, Berlinu, Rimu, Lizboni, Istanbulu in Tel Avivu. Dokazali so, da deževnica ne zadostuje za izpolnjevanje potreb po vodi za sisteme vertikalnih

ozelenitev in da so potrebni drugi vodni viri, zlasti v suhih obdobjih. Ena od možnosti je ponovna uporaba vode, ki v zadnjem desetletju postaja vse bolj pomembna. Pearlmutter in sodelavci (2021) so prikazali možnost zbiranja deževnice v mestnih četrtih oziroma možnost, da bi s sivo vodo zapolnili vrzel v oskrbi z vodo v suhem obdobju ter tako vsaj v določenih primerih namakali ozelenjeno površino, ki je dovolj velika, da z njeno pomočjo evapotranspirira celoten odtok s strehe stavbe.

Uvedba krožnega gospodarstva za urbane vire in pretok snovi je bistven koncept za prihodnost upravljanja voda v mestih (Nika idr., 2020; Atanasova idr., 2021). Pri krožnem gospodarstvu se odtok deževnice in odpadna voda ne štejeta več za odpadke, temveč za vir. Poleg vode se pri linearnem programu čiščenja in odvajanja odpadne vode navadno izgubljajo tudi hranila, na primer dušik in fosfor. Ključna dejavnika, ki omogočata spremembo paradigme, sta pristop in obseg sistema za upravljanje odpadne vode. Stanje tehničnega razvoja v srednji Evropi je osredotočeno na centralizirane čistilne naprave za odpadne vode, katerih edini namen je čiščenje in odvajanje vode. Kot predlagajo Masi in sodelavci (2020), so za spremembo omenjene paradigme potrebni pristopi in tehnologije, usmerjeni v ponovno uporabo.

Sistemi vertikalnih ozelenitev imajo lahko pri tem vlogo čiščenja in uporabe odpadnih voda na kraju samem. Njihova sposobnost čiščenja vode je bila dokazana s tehnologijo rastlinskih čistilnih naprav (Stefanakis, 2019), dodatne koristi in ekosistemske storitve pa so povezane s potrebo po prilagajanju podnebnim spremembam in blažitvi njihovih posledic, povečanjem biotske raznovrstnosti in javnim zdravjem (Masi idr., 2020). Ključni pristop je ločevanje na izvoru. Gospodinjstva odpadna voda je sestavljena iz uporabljene in onesnažene vode, ki nastane v gospodinjstvu. Na podlagi izvora je mogoče razlikovati med črno vodo iz stranišč, ki vključuje urin in iztrebke, rumeno vodo iz sistemov za preusmeritev urina in sivo vodo, ki vključuje vodo iz kopalniških umivalnikov, prh in pralnih strojev ter običajno ne vključuje vode iz pomivalnih strojev in kuhinjskih korit. Siva voda predstavlja 60–80 % skupne količine odpadne vode z dnevno količino 35–117 l na osebo, odvisno od države (Boano idr., 2020). Za čiščenje sive vode je mogoče uporabiti nizko intenzivne tehnologije, vključno z na naravi temelječimi rešitvami (Cross idr., 2021).

V zadnjem desetletju so bili za čiščenje sive vode razviti in uporabljeni predvsem sistemi vertikalnih ozelenitev v obliki živih sten in živih sten s sistemom uporabe sadilnih posod (Boano idr., 2020; Addo-Bankas idr., 2021). Ker je horizontalni urbani prostor omejen in drag, so alternativa vertikalne izvedbe. Z uporabo sistemov vertikalnih ozelenitev za čiščenje sive vode na kraju samem je mogoče izpolniti dva

cilja: čiščenje vode na kraju samem in energetske nevtralnosti namakanja sistema vertikalne ozelenitve. Ta tehnološki pristop je zelo obetaven, saj so vse druge funkcije in koristi sistemov vertikalnih ozelenitev odvisne od stalne in zadostne oskrbe z vodo. Več študij je preizkusilo ta koncept, dokazalo sprejemljivo odstranjevanje onesnaževal (Masi idr., 2016; Fowdar idr., 2017; Boano idr., 2020) in zagotovilo rezultate izvedbe v polnem obsegu (Zraunig idr., 2019; Lakho idr., 2021). Vendar je uporaba sistemov vertikalnih ozelenitev za čiščenje sive vode mlado raziskovalno področje v primerjavi z raziskovalnim področjem rastlinskih čistilnih naprav, kjer se tehnologija raziskuje in izvaja od petdesetih let 20. stoletja.

Večnamenska živa stena s sistemom uporabe sadilnih posod v polnem obsegu je bila raziskana v okviru projekta Verical Green 2.0 kot prispevek k razvojnemu procesu (Pucher idr., 2020). Podrobnosti o teh študijah so predstavljene v naslednjih razdelkih.

3.1 Poraba vode za sistem vertikalne ozelenitve

Na splošno je treba razlikovati med potrebo po vodi in porabo vode. Potrebo po vodi, zlasti če se izračuna kot potencialna evapotranspiracija, je mogoče opredeliti kot vodo, ki je potrebna za podpiranje pridelave rastlin v optimalnih razmerah. Poraba vode je dejanska količina vode, s katero se oskrbuje sistem in ki jo absorbirajo rastline (dejanska evapotranspiracija). Ta parameter je mogoče enostavno izmeriti (npr. z vodomeri) in je zato najpogosteje naveden v literaturi.

V preglednici 4.1 je navedena poraba vode na m^2 vertikalne površine za različne sisteme po svetu. Ugotoviti je mogoče splošno razliko v porabi vode med živimi stenami ($580\text{--}6.150\text{ L}\cdot\text{a}^{-1}$) in živimi stenami s sistemom uporabe sadilnih posod ($280\text{--}500\text{ L}\cdot\text{a}^{-1}$). Žive stene imajo navadno večjo porabo vode, ker prostornina substrata popolnoma prekriva ozelenjeno vertikalno površino in ker voda zaradi težnosti teče navzdol.

Pérez-Urrestarazu (2021) je raziskoval porabo vode več živih sten v Španiji (preglednica 4.1). Poraba vode je odvisna predvsem od položaja sistema in vpadnega kota sončnega obsevanja. Pri teh sistemih so bile ugotovljene precejšnje izgube pri odvajanju vode, zato je treba uporabiti ponovno kroženje presežne vode. Z vidika zasnove je mogoče module uporabiti za omejevanje gibanja vode. Pri živih stenah s sistemom uporabe sadilnih posod je mogoče vsako posodo šteti za zaprto enoto z namenskim sistemom namakanja (npr. število kapljalnikov na površino), zato sistem za odvajanje vode ni potreben. Poleg tega se pogosto uporablja zajezeno dno za shranjevanje vode, ki omogoča učinkovito uporabo namakalne vode. Sistemi

z rastlinami, ki izraščajo iz tal, imajo lahko različno porabo vode, saj nanje zelo vplivajo vertikalni obseg ter substrat ali zemlja in horizontalna površina. Poleg tipa sistema vertikalne ozelenitve so lahko kazalniki porabe vode tudi tehnika in intervali namakanja. Priporočljivo je pogostejše in kratkotrajno namakanje z zmanjšano prostornino pretoka. Tako namakanje temelji na hidravličnih lastnostih pri vlažnih substratih, ki omogočajo lažje gibanje vode, kar povzroča enakomerno distribucijo vode v primerjavi s strategijami manj pogostega namakanja z večjo količino vode. Ko se presežek vode zbere in ponovno uporabi, je mogoče uporabiti večje prostornine pretoka za ustvarjanje vlažnih pogojev brez izgube vode (Pérez-Urrestara-zu idr., 2014; Segovia-Cardozo idr., 2019; Kaltsidi idr., 2020).

Za sisteme z rastlinami, ki izraščajo iz tal, obstaja le malo podatkov o njihovi porabi vode. Leuzinger (2011) je s potometrom in merjenjem ksilemskega toka količinsko opredelil stopnje transpiracije navadnega bršljana (*Hedera helix*) v gozdnem okolju v bližini Basla v Švici. V obdobju od 1. do 24. aprila 2004 so bile zaznane najvišje stopnje transpiracije $13,5 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ ($= 0,81 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$) za celotno rastlino in povprečne stopnje transpiracije na enoto listne površine $0,23 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($= 0,015 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). Hölscher in sodelavci (2016) so z merilniki ksilemskega toka merili stopnje transpiracije za divjo trto (*Parthenocissus tricuspidata*) in navadni bršljan (*Hedera helix*) v urbanem okolju od 16. do 19. avgusta 2013 in od 1. do 6. avgusta 2014. Ugotovili so, da so povprečne stopnje transpiracije za divjo trto in navadni bršljan znašale $0,5 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ (na listno površino). V isti raziskavi je poraba vode grmastega slakovca (*Fallopia baldschuanica*), posajenega v posodi, znašala $0,5 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ (na listno površino).

3.2 Študija primera na univerzi TUB

Pri zasnovi sistema vertikalne ozelenitve je treba poznati potrebo po vodi v celotnem vegetacijskem obdobju, da sta omogočena zdravje rastlin in uporaba sistema vertikalne ozelenitve za upravljanje voda v mestu. Vendar pa obstaja malo dolgoročnih podatkov o potrebi po vodi za različne sisteme. Na poskusni lokaciji v Berlinu smo med vegetacijskim obdobjem leta 2021 spremljali porabo vode štirih zelenih fasad, zasajenih z naslednjimi rastlinami, ki izraščajo iz tal: navadni hmelj (*Humulus lupulus*), laški fižol (*Phaseolus coccineus*), vinska trta (*Vitis vinifera*) in grmasti slakovec (*Fallopia baldschuanica*) (slika 4.8).

Preglednica 4.1: Poraba vode različnih sistemov vertikalnih ozelenitev na kvadratni meter ozelenjene vertikalne površine

Tip	Lokacija	Vrsta rastlin	Poraba vode na m ²	Referenca
Žive stene s sistemom uporabe sadilnih posod	Delft	Trajnice	1 L.dan ⁻¹	Ottelé idr. (2011)
	Madrid	Vzpenjavke	8 L.dan ⁻¹	Oquendo-Di Cosola idr. (2020)
	Madrid	Vzpenjavke	2 L.dan ⁻¹	Oquendo-Di Cosola idr. (2020)
	Los Angeles	Vzpenjavke	6 L.dan ⁻¹	Natarajan idr. (2015)
	Portugalska	Vzpenjavke	340 L.let ⁻¹	Manso idr. (2018)
	Dunaj Kandlg.	Trajnice	280 L.let ⁻¹	GrünPlusSchule (2018)
	Dunaj Schumeierpl.	Trajnice	370 L.let ⁻¹	GrüneZukunftSchule (2018)
	Dunaj MA31	Trajnice/vzpenjavke	500 L.let ⁻¹	Pelko (2018)
Žive stene	Dunaj Kandlgasse	Trajnice	750 L.let ⁻¹	GrünPlusSchule (2018)
	Dunaj Diefenbachg.	Trajnice	580 L.let ⁻¹	GrüneZukunftSchule (2018)
	Mehika	Trajnice/vzpenjavke	615 L.let ⁻¹	Sanchez-Resendiz idr. (2018)
	Eindhoven	Trajnice	630 L.let ⁻¹	Van de Wouw idr. (2017)
	Delft	Trajnice	3 L.dan ⁻¹	Ottelé idr. (2011)
	Španija (več sistemov)	Trajnice	3,7–8,8 L.dan ⁻¹	Pérez-Urrestarazu (2021)
Sistemi z rastlinami, ki izraščajo iz tal	Hongkong	Trajnice	100 L.mesec ⁻¹	Pan in Chu (2016)
	Dunaj, St. Anna	Vzpenjavke	140 L.let ⁻¹	Prenner (2020)
	Berlin	Vzpenjavke (grmasti slakovci (<i>Fallopia baldschuanica</i>))	0,5 L.dan ^{-1*}	Hoelscher idr. (2016)
		Vzpenjavke (navadni bršljan (<i>Hedera helix</i>))	0,5 L.dan ^{-1*}	Hoelscher idr. (2016)
		Vzpenjavke (divja trta (<i>Parthenocissus tricuspidata</i>))	0,5 L.dan ^{-1*}	Hoelscher idr. (2016)
	Berlin	Kitajska glicinija (<i>Wisteria sinensis</i>)	8 L.dan ⁻¹	Schmidt (2010)
	Basel	Navadni bršljan (<i>Hedera helix</i>)	0,36 L.dan ^{-1*}	Leuzinger idr. (2011)

* Potreba po vodi na enoto listne površine

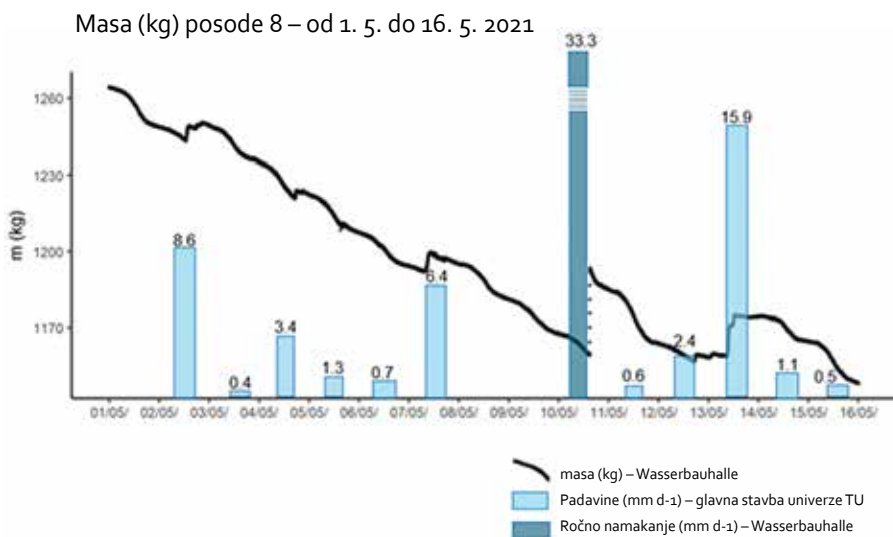


Slika 4.8: Poskusna lokacija TU Berlin (fotografija: Karin A. Hoffmann)

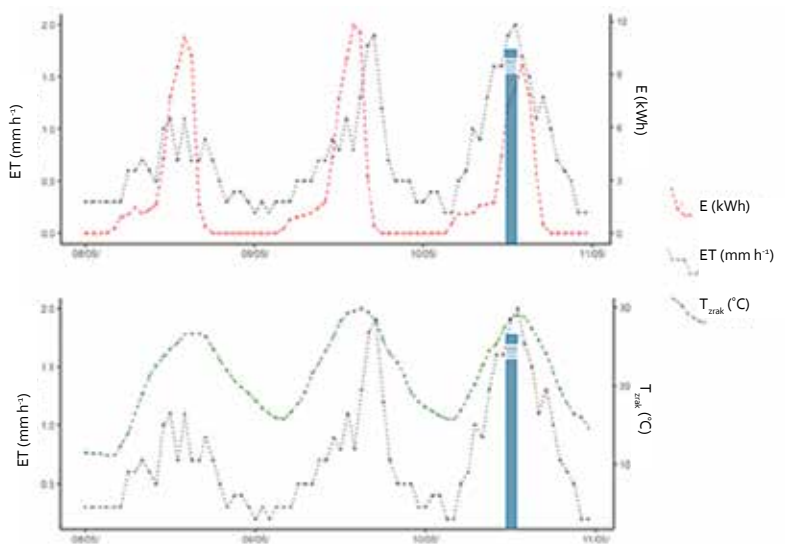
Poskusna lokacija je zahodno orientirana stena v kampusu univerze TU v središču Berlina v Nemčiji. Preučevane rastline, posajene v posode s prostornino 1 m^3 , smo namestili pred steno. Vsako posodo smo napolnili s 25-centimetrsko plastjo zdrobljenih opek, ki je služila kot drenažna plast, ter jo prekrili s koreninsko pregrado v obliki membrane, z 10-centimetrsko plastjo peska in 35-centimetrsko vrhno plastjo zemlje. Poleg tega smo v zgornjem delu drenažne plasti zagotovili odtok. Tako je imela vsaka posoda potencialno prostornino za shranjevanje $0,275 \text{ m}^3$ vode. Dežemer s prekucnikom je v kombinaciji z upogibnimi merilnimi celicami (ME-Systeme LCB130, G3) vsako sekundo zaznaval presežek vode.

Posode z rastlinami smo postavili na tehtalne celice (ME-Systeme KR80, 0,5 t), ki so vsako minuto merile težo posod z rastlinami. Med vegetacijskim obdobjem (od aprila do septembra) smo preizkusili tri različne pogostosti namakanja (ročno namakanje enkrat na teden (od 23. 4. do 14. 6.), samodejno namakanje enkrat na dan (od 14. 6. do 10. 8.), samodejno namakanje dvakrat na dan (od 10. 8. do 21. 9.)).

Namakanje je potekalo nad tlemi s cevjo. Na sliki 4.9 so prikazane spremembe mase posode z grmastim slakovcem (*Fallopia baldschuanica*) v prvih dveh tednih maja 2021. Dinamične vodne tokove v posodo in iz nje smo filtrirali s filtrom AWAT (Peters idr., 2014), kar je povzročilo povečanje in zmanjšanje količine vode zaradi padavin in evapotranspiracije (ET) sistema (slika 4.10). Če potek evapotranspiracije primerjamo s potekom temperature zraka in izkoristkom sončne energije na rastlini, je mogoče predpostaviti optimalno oskrbo z vodo in potencialno evapotranspiracijo po ročnem namakanju.



Slika 4.9: Masa posode z rastlino grmasti slakovc (*Fallopia baldschuanica*) in namakanje (mm) – od 1. 5. do 16. 5. 2021 (avtorica: Karin A. Hoffmann)



Slika 4.10: Evapotranspiracija (črna) v primerjavi s sončno energijo (rdeča, zgoraj) in temperaturo zraka (zelena, spodaj) na testni lokaciji na univerzi TUB med 8. in 11. majem 2021; ročno namakanje 10. maja (avtorica: Karin A. Hoffmann)

3.4 Študija primera na univerzi BOKU

Poskusna živa stena s sistemom uporabe sadilnih posod, ki je bila izvedena na univerzi BOKU, je v celoti opisana v 3. delu. Spodnji rezultati se nanašajo na sistem 10 posod, ki skupaj zagotavljajo prostornino substrata $0,54 \text{ m}^3$ in površino substrata 3 m^2 .

3.4.1 Raziskovanje namakalnih režimov

Glavni cilji te raziskave so primerjava treh različnih vzorcev oskrbe z vodo: (a) minimalna oskrba za vodo, (b) zadostna oskrba z vodo (in sivo vodo) in (c) čezmerna oskrba z vodo (in sivo vodo). Slednja se obravnava kot čiščenje sive vode. Ta poskus smo izvedli med rastno dobo od aprila do avgusta 2021 (sistem je deloval od marca 2020, zato je mogoče predvideti ustaljene pogoje). Neobdelano sivo vodo smo pripravili ob upoštevanju protokola z uporabo običajih izdelkov za osebno nego in čistilnih sredstev (Pucher idr., 2020).

- a. Minimalna oskrba z vodo (stena 1): Namakalni načrt smo prilagodili glede na lokalne podnebne razmere, da ne bi prišlo do poškodb rastlin. Začeli smo z namakanjem enkrat na teden, nato pa ga spremenili na dvakrat tedensko in pozneje še trikrat tedensko.
- b. Zadostna oskrba z vodo: To skupino smo dnevno namakali z $8,3 \text{ mm}$ vode. Pri enem sistemu smo uporabili vodovodno vodo (stena 2), pri drugem pa neobdelano sivo vodo (stena 3).
- c. Čezmerna oskrba z vodo: Ta skupina se imenuje tudi enota za čiščenje sive vode in smo jo namakali s 30 mm nebodelane sive vode na dan (stena 4).

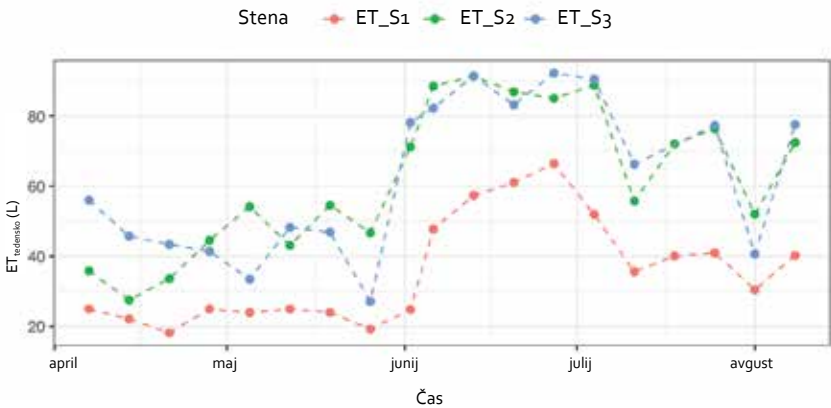
Namakanje stene 1 in stene 2 smo izvajali z namakalnim računalnikom in vodovodno vodo. Steni 3 in 4 smo namakali s potopnima črpalkama, postavljenima v zbiralniku prostornine 2 m^3 . S tem smo dobili bolj spremenljivo količino namakanja kot pri stenah 1 in 2. V preglednici 4.2 so navedene količine dnevnega namakanja in podatki o intervalih namakanja. Za stene 1 do 3 smo spremljali dotok in odtok, za steno 4 pa smo beležili samo dotok. Na podlagi ročnih meritev in intervala namakanja smo predvidevali, da je za steno 4 dotok enak odtoku.

Na podlagi izmerjenega dotoka in odtoka za stene 1, 2 in 3 smo izračunali dnevno evapotranspiracijo za vsako steno. Za primerjavo med tremi stenami smo izračunali tedensko količino evapotranspiracije. Ta podatek smo potrebovali, saj so bili za steno 1 na voljo samo tedenski podatki. Kot je prikazano na sliki 4.11, je v obdobju 20 tednov mogoče opaziti značilni vzorec. To je mogoče pojasniti s temperaturo

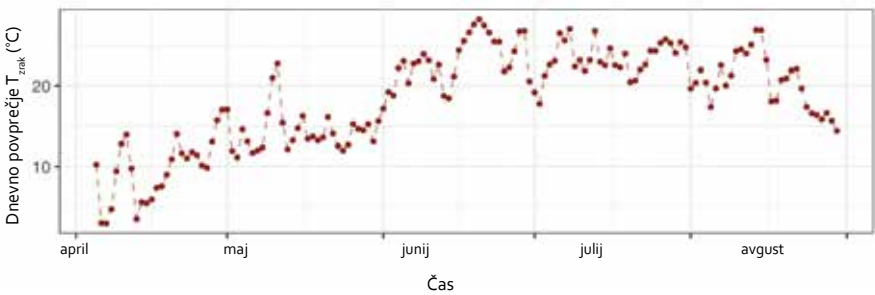
med trajanjem poskusa (slika 4.12). Junija so bile dosežene najvišje temperature, julija pa so se temperature znižale. Avgusta se je evapotranspiracija povečala zaradi zvišanja temperatur.

Preglednica 4.2: Zasnova namakanja za poskusni sistem na univerzi BOKU. Poskus se je začel avgusta 2021.

Stena	Dnevna količina	Interval namakanja
Stena 1	25 l	Enkrat na teden, od junija dvakrat na teden, nato pa trikrat na teden
Stena 2		Vsak dan
Stena 3		Vsak dan
Stena 4	90 l	Vsaki 2 uri



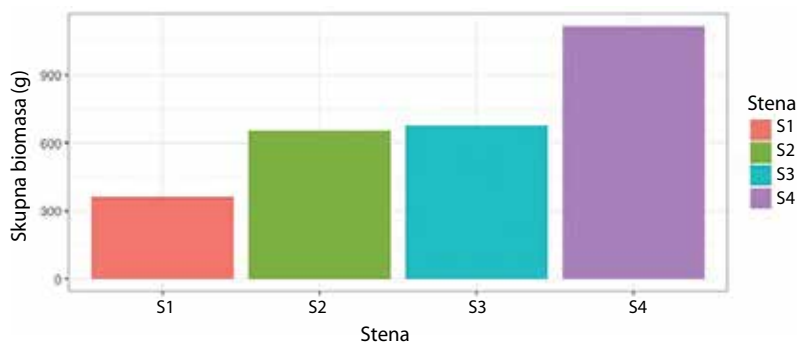
Slika 4.11: Tedenska količina evapotranspiracije (ET) za stene 1, 2 in 3 (avtorica: Karin A. Hoffmann)



Slika 4.12: Povprečne dnevne temperature v poskusnem obdobju (avtorica: Karin A. Hoffmann)

Vpliv namakanja je mogoče še bolje opaziti, če primerjamo skupno biomaso na stenah z različnim namakanjem. Vsaka živa stena s sistemom uporabe sadilnih posod pri demonstracijskem sistemu na univerzi BOKU obsega površino 5 m². Na steni 1 z nizko pogostostjo namakanja (1- do 2-krat na teden) je bilo skupaj proizvedene 363 g suhe rastlinske biomase. Skupna biomasa na stenah 2 in 3 z zadostnim namakanjem (enkrat na dan) je znašala 657 g in 676 g. Na steni 4, ki je bila namakana vsako uro, je bilo skupaj proizvedene 1.115 g suhe biomase (trikrat več kot na steni 1) (Braunegger, 2021). Na podlagi rezultatov (slika 4.13) je mogoče izpostaviti naslednje ugotovitve:

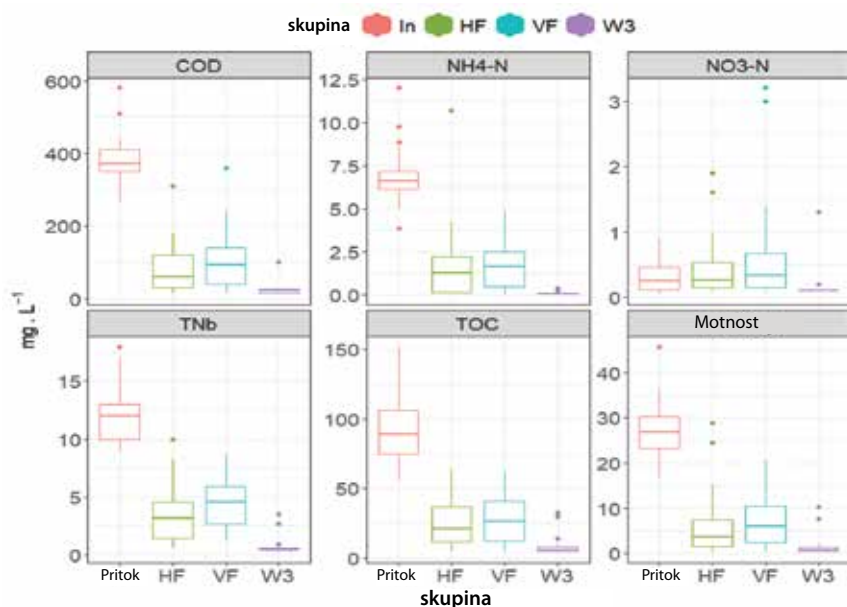
- Količina vode za namakanje vpliva na razvoj biomase.
- Med vodnimi viri, tj. vodovodno vodo in neobdelano sivo vodo, ni nobenih razlik pri razvoju biomase.



Slika 4.13: Skupna suha biomasa za vsako steno po pobranem celotnem pridelku (avtorica: Karin A. Hoffmann)

3.4.2 Raziskovanje učinkovitosti čiščenja sive vode

Kot je navedeno zgoraj, je potrebna zadostna oskrba z vodo, da lahko sistem vertikalne ozelenitve zagotavlja vse svoje koristi. V okviru tega projekta je bila ena raziskava povezana s čiščenjem in uporabo sive vode za namene namakanja. Vodo je treba pred ponovno uporabo očistiti, da se zagotovi skladnost s predpisi in smernicami o ponovni uporabi vode (Boano idr., 2020). Sistemi vertikalnih ozelenitev kot tehnologija za čiščenje sive vode so večnamenski. Omogočajo uporabo neobdelane sive vode za namakanje, hkrati pa delujejo kot sistem za čiščenje, ki zagotavlja presežno vodo za namene ponovne uporabe. Sistem vertikalne ozelenitve v tem smislu deluje kot vertikalno postavljena rastlinska čistilna naprava (npr. Masi idr., 2016; VertECO, 2021). Za namen raziskave smo steno 4 razdelili na dva sistema: sistem s horizontalnim tokom (HF) in sistem s polvertikalnim tokom (sVF), ki sta bila



Slika 4.14: Grafikon kvartilov za koncentracije glavnih parametrov kakovosti v pritoku in iztočku za vsak sistem (HF = horizontalni tok, VF = polvertikalni tok, W3 = stena 3) (avtorica: Karin A. Hoffmann); turbidity = motnost, In = pritok (avtorica: Karin A. Hoffmann)

sestavljena iz petih korit. Sistem s horizontalnim tokom predstavlja opisani sistem vertikalne ozelenitve, sistem s polvertikalnim tokom pa je izmenično opremljen z eno in dvema odprtinama. Vsak sistem smo namakali vsaki dve uri z dnevno količino 90 l, kar predstavlja količino sive vode, ki jo ena oseba proizvede na dan.

Na sliki 4.14 so prikazani parametri kakovosti vode, analizirani za dve enoti za čiščenje vode, in sicer sistem s horizontalnim tokom in sistem s polvertikalnim tokom, ter steno 3 (ki predstavlja sistem, namakan z neobdelano sivo vodo). Pri steni 3 smo ugotovili odlično učinkovitost čiščenja za vse parametre. Sklepamo lahko, da je bila presežna voda v tem sistemu ustrezno očiščena in bi jo bilo mogoče nadalje uporabiti za različne namene ponovne uporabe. Če primerjamo sistema za čiščenje s horizontalnim in polvertikalnim tokom, lahko za vse parametre ugotovimo, da ima sistem s horizontalnim tokom boljšo učinkovitost čiščenja.

3.4.3 Možnosti večnamenske zasnove

Rezultati obeh poskusov (oskrba z vodo, proizvodnja biomase in čiščenje sive vode) kažejo zadostno učinkovitost predlagane nizkotehnološke zasnove in več-

namenskost sistema. Različni vzorci oskrbe z vodo kažejo neposredno povezavo s proizvodnjo biomase in evapotranspiracijsko kapaciteto. Glede na opazovanje delovanja v obdobju dveh let pri stenah 1, 2 in 3 ni prišlo do nobenih napak. V drugem letu delovanja so bili pri sistemih za čiščenje sive vode vidni znaki zamašitve v koritih. Po enotedenskem obdobju mirovanja so bili sistemi znova odmašeni. Ugotovili smo, da je treba razloge iskati v kombinaciji naslednjih dejavnikov: razvoju biofilma, razvoju korenin, visoki hidravlični in organski obremenitvi ter staranju substrata (za več podrobnosti glejte poglavje 3.4). To je zmanjšalo poroznost in hidravlično prevodnost posameznega korita. Ker smo to opazili pri vseh koritih, razvoj biofilma ne more biti edini razlog, saj je bila vsebnost organskih snovi v zadnjem koritu že močno zmanjšana. Za nadaljnji razvoj sistema vertikalne ozelenitve kot sistema za čiščenje sive vode je treba raziskati dolgoročno spreminjanje substrata in spremembo pornega volumna zaradi razvoja korenin.

3.5 Modeliranje in simulacija potrebe po vodi za zelene fasade

Za horizontalne površine je mogoče potrebo rastlin po vodi izračunati kot potencialno evapotranspiracijo na podlagi empiričnih (npr. Haude, 1955; Thornthwaite, 1957; Turc, 1961) ali fizikalnih pristopov (npr. Monteith, 1965). Allen in sodelavci (1994) so na podlagi pristopa Penman-Monteith razvili metodo referenčne evapotranspiracije s travnate površine, ki jo priporoča Organizacija Združenih narodov za prehrano in kmetijstvo (poročilo FAO 56). Po tej metodi se izračuna vrednost ET_0 za horizontalno travnato površino z zadostno oskrbo z vodo in višino rastlin 0,12 m. Za količinsko opredelitev evapotranspiracije za različne vrste in višine rastlin se referenčna evapotranspiracija s travnate površine ET_0 pomnoži s posameznim faktorjem rastlin k_c , ki je dinamičen v celotnem vegetacijskem obdobju (DVWK, 1996).

V primeru sistemov vertikalnih ozelenitev lahko rastline prekrivajo velike vertikalne površine, pri čemer zavzemajo majhno površino na vodoravni ravnini. Na vertikalni ravnini v mestnem okolju je evapotranspiracija odvisna od morfologije in ekspozicije stavb, kar vpliva na ustrezne meteorološke parametre in različno izbiro vrst rastlin. V številnih študijah, ki preučujejo toplotno učinkovitost sistemov vertikalnih ozelenitev, je uporabljena enačba Penman-Monteith ali enačba za referenčno evapotranspiracijo, in sicer večinoma s podatki, izmerjenimi na kraju samem, ali preoblikovanimi podatki, ki izhajajo iz podatkov oddaljene vremenske postaje.

Razpoložljivost teh posebnih vhodnih podatkov omejuje uporabo modelov za izračun potrebe po vodi za načrtovanje. Saad (2020) je na podlagi podatkov, pridobljenih na poskusni lokaciji na univerzi TUB, analiziral primernost pristopov modeliranja evapotranspiracije za sisteme vertikalnih ozelenitev, razpoložljivost njihovih vhodnih parametrov in natančnost rezultatov modela. Ko je simulirano potrebo po vodi, ki izhaja iz oddaljene vremenske postaje, primerjal s podatki, pridobljenimi na kraju samem, je ugotovil, da sta najbolj občutljiva parametra sevanje in hitrost vetra. Podatke o relativni vlažnosti in temperaturi zraka je mogoče pridobiti iz oddaljenih vremenskih postaj, čeprav bi bilo mogoče natančnost simuliranega rezultata izboljšati z empiričnim faktorjem za temperaturo zraka (za poskusno lokacijo na univerzi TUB je bilo ugotovljeno, da ta faktor znaša 1,071 za obdobje študije). Ena možnost prilagoditve oddaljenih podatkov o sevanju pogojem na kraju samem je, da se modeliranje izvede s programom RayMan (Matzarakis, 2000) z uporabo digitalnega modela višin (DMV). Zaradi heterogenosti mestnega okolja se je izkazalo, da je hitrost vetra najtežje pridobiti iz oddaljenih podatkov, zato jo je priporočljivo vsaj več mesecev meriti na kraju samem, da je mogoče izpeljati empirične faktorje za prilagoditev. Za model zelene fasade z rastlinami, ki izraščajo od tal, bi bilo mogoče rezultate potrebe po vodi rahlo izboljšati z upoštevanjem variabilnosti sevanja in hitrosti vetra glede na višino (koeficient učinkovitosti Nash-Sutcliffe (NSE) 0,38 za evapotranspiracijo (odvisno od višine) v primerjavi s koeficientom NSE 0,29 za evapotranspiracijo (neodvisno od višine) (Saad, 2020).

Pri uporabi pristopa Penman-Monteith na ravni stavb je mogoče izračunano potrebo po vodi uravnotežiti glede na razpoložljivost vode, ki je povezana s padavinami in proizvodnjo sive vode, kot navajajo Pearlmutter in sodelavci (2021). Za nabor študij primerov v različnih mestih in tipičnih stavb so sisteme vertikalnih ozelenitev vključili v strategije upravljanja odtoka in sive vode. V raziskavi so dokazali, da podnebne razmere oblikujejo splošni potencial za upravljanje voda z omogočanjem evapotranspiracije in odtoka. Vendar pa značilnosti stavbe in prebivalci v enaki meri določajo količino vode, ki jo je mogoče obdelati, in površino na stavbi, ki jo je mogoče ozeleniti. To so ključni dejavniki za zagotavljanje prostora za zbiranje odtoka in izvajanje ozelenitve stavb ter za proizvodnjo sive vode. Siva voda, proizvedena na kraju samem, lahko uravnoteži pomanjkanje padavin med letom ter poveča površino, ki jo je mogoče ozeleniti in ki se namaka z lokalnimi vodnimi viri. Sistemi vertikalnih ozelenitev lahko v mestnem okolju optimizirajo decentralizirano upravljanje voda na ravni stavb in mestnih četrti (Pearlmutter idr., 2021).

3.5.1 Konceptualni model za uporabo deževnice v sistemih vertikalnih ozelenitev

Uporaba deževnice za namakanje sistemov vertikalne ozelenitve se v literaturi pogosto omenja kot trajnostna alternativa uporabi pitne vode iz vodovoda, vendar praktične podrobnosti takih sistemov (npr. območja odtekanja, kakovost in tehnična zasnova) še niso dobro raziskane (Prenner idr., 2021). Za zapolnitev te vrzeli v znanju smo v okviru projekta Verical Green 2.0 razvili konceptualni model, ki zagotavlja podroben opis vključenih procesov in vplivnih dejavnikov. V preglednici 4.3 je predstavljenih pet podmodelov, njihovi glavni procesi in vplivni dejavniki (Prenner idr., 2021).

Preglednica 4.3: Procesni in vplivni dejavniki konceptualnega modela uporabe deževnice pri namakanju (ponovno uporabljeno z dovoljenjem avtorjev Prenner idr., 2021)

	1. Ozračje	2. Hidravlika	3. Kakovost	4. Zbiranje deževnice	5. Sistem vertikalne ozelenitve
Procesi	Padavine	Oblikovanje odtoka	Absorpcija onesnaževal	Shranjevanje odtoka	Evapotranspiracija
				Porazdelitev odtoka	Odvajanje
					Preliv
Vplivni dejavniki	Intenzivnost sevanja	Zbirno območje	Obremenitev z onesnaževali	Velikost zbiralnika	Vegetacija
	Veter	Vrsta površine	Čiščenje odtoka	Material zbiralnika	Rastni substrat
	Temperatura zraka	Koeficient odtoka		Položaj zbiralnika	Posode z rastlinami
	Vreme	Grajeno okolje		Oblika zbiralnika	Namakalni sistem
				Pretočni sistem	Zahteve glede kakovosti

a) Ozračje

Kot opisujejo Prenner in sodelavci (2021), podmodul ozračja vključuje intenzivnost sevanja, temperaturo zraka, veter, padavine in vremenske razmere. Na rast rastlin v urbanem okolju vplivajo spreminjajoči se atmosferski pogoji, kot so vpadno sevanje, prevladujoči veter, temperatura zraka, vzorci padavin in splošne vremenske razmere (Hunter idr., 2014; González-Méndez in Chávez-García, 2020). Vzorci padavin in časovna ločljivost razpoložljivih podatkov so bistveni, saj vplivajo na zahtevano zmogljivost shranjevanja (ÖNORM EN 16941-1, 2018; Zabidi idr.,

2020). Na splošno se priporoča, da dnevni podatki vključujejo kratka suha obdobja in ekstremne nevihte (Riley, 2017). Vetrovne razmere v urbanih okoljih so odvisne od okoliških stavb, ki lahko povzročijo lokalno močne vetrove. To vpliva na razvoj rastlin in lahko povzroči mehanske poškodbe. Različne vetrovne razmere prav tako neposredno vplivajo na vlažnost in parni tlak. Nizke stopnje relativne vlažnosti zmanjšujejo transpiracijo, saj se rastline zaščitijo pred izsušitvijo, visoke stopnje vlažnosti pa povečajo transpiracijo (Susorova idr., 2013, Prenner idr., 2021). Ključni dejavnik, ki vpliva na stopnjo evapotranspiracije, je intenzivnost sevanja (Dingman, 2015; Lee in Jim, 2017). Poleg splošnih atmosferskih pogojev, in sicer razvoja oblakov in premikanja sonca, lahko na intenzivnost lokalnega sevanja vplivajo tudi odboji od okoliških stavb in dejanska višina sistema vertikalne ozelenitve (Hunter idr., 2014; Riley, 2017; Hoelscher, 2018). Še en atmosferski parameter je temperatura zraka, ki je neposredno povezana s parnim tlakom. Povišanje temperature zraka povzroči večje primanjkljaje parnega tlaka, kar povzroči višjo evapotranspiracijo iz sistema vertikalne ozelenitve. Dejanska potreba po vodi se poveča (Jim in He, 2011; Pérez-Urrestarazu idr., 2014; Dingman, 2015). Pri živih stenah s sistemom uporabe sadilnih posod lahko visoke temperature škodujejo zdravju in razvoju korenin. To je mogoče opaziti pri neizoliranih posodah (Mathers idr., 2007; Hunter idr., 2014).

b) Hidravlika

Podmodul hidravlike opisuje oblikovanje odtoka, ki je odvisno od povezanega območja, koeficienta odtoka, vrste površine in okoliškega grajenega okolja. Razlikovati je mogoče med odtokom s strehe in površinskim odtokom (npr. na ulicah, parkiriščih, dvoriščih). Večinoma se uporablja odtok s strehe, saj se zbiranje po navadi izvaja po zasnovi stavbe. Če količina ni zadostna, se lahko zbira tudi površinski odtok (Nolde, 2007). Razpoložljivo izdatnost odtoka je mogoče izračunati z naslednjo enačbo (Farreny idr., 2011; ÖNORM EN 16941-1, 2018):

$$Y_t = A \times h_t \times RC \times \eta$$

pri čemer je Y_t izdatnost odtoka na dan ($L^3 \cdot T^{-1}$), A je območje odtoka (L^2), h_t je višina padavin na dan ($L \cdot T^{-1}$), RC je koeficient odtoka (-), η pa je koeficient učinkovitosti hidravlične obdelave (-). Vrednost RC je odvisna od vrste površine, uporabljenega materiala in naklona. Čeprav se za določeno območje in vrsto površine uporablja konstantna vrednost, so Nehls in sodelavci (2020) ugotovili, da je vrednost RC odvisna od intenzivnosti padavin. Koeficient hidravlične obdelave je točka povezave z naslednjim podmodelom »kakovost vode«. Opisuje razmerje med izdatnostjo zbranega odtoka kot pritoka v enoto za čiščenje vode in količino iztoka. To predstavlja izgubo vode znotraj določene infrastrukture (ÖNORM EN 16941-1, 2018).

c) Kakovost vode

Odvisno od območja, na katerem nastaja odtok, lahko pride do onesnaženja z različnimi vrsti onesnaževal v spremenljivih količinah. Na splošno so bistvena naslednja onesnaževala: težke kovine, suspendirane snovi, organski ogljik, bakterije in kloridi (Nolde, 2007; Ingvertsen idr., 2011). Še zlasti kritična so onesnaževala, ki se pojavljajo v površinskem odtoku. Ta vključujejo pesticide, ki se uporabljajo za vrtnarjenje, in onesnaževala v gradbenem materialu, ogljikovodikih (npr. razlitja nafte, gorivo in emisije vozil), alkilfenolih iz cest in odtekanja po gradbenem materialu, ftalatih večinoma iz prometnih površin, per- in polifluoroalkilnih snoveh iz padavinskega odtoka in odtoka s streh ter polikloriranih bifenilnih iz maziv, hidravličnih olj in hišnih fasad (Tondera idr., 2018; Prenner idr., 2021). Ker je odtok iz prometnih površin pogosto bolj onesnažen kot odtok s streh, se za zbiranje deževnice večinoma uporablja zgolj slednji (Nolde, 2007; Angrill idr., 2017; Leong idr., 2017; Zabidi idr., 2020). Odvisno od onesnaževala je mogoče uporabiti različne strategije čiščenja. Na splošno se uporablja mehansko predhodno čiščenje za odstranjevanje večjih delcev in usedanje organskih snovi, da ne bi prišlo do kopičenja v zbiralniku. Za namene ponovne uporabe so priporočljiva nadaljnja čiščenja, na primer filtracija in dezinfekcija. Visoke temperature v zbiralnikih lahko povzročijo poslabšanje kakovosti, saj pospešijo rast bakterij (Leong idr., 2017). Ko se onesnaževala med suhimi obdobji nakopičijo, je mogoče »začetno izplakovanje«, tj. izpiranje teh onesnaževal ob prvem deževju, preusmeriti v kanalizacijo, da se preprečijo visoke obremenitve z onesnaževali v sistemu za zbiranje deževnice (Leong idr., 2017; Zabidi idr., 2020). Poleg tega lahko sistem vertikalne ozelenitve deluje kot enota za čiščenje, saj potekajo enaki procesi kot pri rastlinskih čistilnih napravah.

d) Zbiranje deževnice

Sistem za zbiranje deževnice je odvisen od vzorca padavin in potrebe po vodi za namakanje sistema vertikalne ozelenitve, zato je časovni okvir razpoložljivih podatkov o padavinah bistvenega pomena. Prenner in sodelavci (2021) so opisali dva glavna pristopa za dimenzioniranje enote za shranjevanje. Osnovni pristop uporablja povprečno dnevno potrebo po vodi in pričakovano število dni splošnega suhega obdobja. Na podlagi standarda ÖNROM EN 16941-2 (2018) je bila za nemško govoreče države uporabljena vrednost 21 dni. Podrobni pristop uporablja dnevne podatke in algoritem za izračun velikosti enote za shranjevanje, da upošteva nepravilnosti pri zahtevani potrebi po namakanju. Na podlagi vhodno-izhodne simulacije sta bila izračunana preliv in potrebna rezervna voda za sistem. Nato je načrtovalec izbral optimalno velikost enote za shranjevanje, pri čemer je iskal ravnovesje med rezervno in prelivno vodo (ÖNORM EN 16941-1, 2018). Za več informacij glejte Prenner in sodelavci (2021). Izvedba sistemov za zbiranje deževnice je odvisna od več dejavnikov. Na splošno se lahko uporabljajo strešni ali podzemni zbiralniki. Za

zbiranje padavinskega odtoka so potrebni rezervoarji za zbiranje in prečrpovalni jaški (Nolde idr., 2007).

e) Sistemi vertikalnih ozelenitev

Pri sistemih vertikalnih ozelenitev so bistveni naslednji procesi: evapotranspiracija, odvajanje in preliv. Ti procesi so odvisni od vrste vegetacije, oblike sadilnih posod, vključno z rastnim substratom, in sistema namakanja.

Vodo za namakanje je mogoče uporabiti na vrhu ali dnu sistema vertikalne ozelenitve. V slednjem primeru se za shranjevanje vode uporabi zajezeno območje. V obeh primerih hidravlični parametri rastnega substrata, in sicer hidravlična prevodnost in poroznost tal, določajo pretok vode. Poleg tega je za sisteme z zajezenimi območji bistvenega pomena kapilarni dvig. Rastni substrat vpliva tudi na rast korenin, zdravje rastlin, vodo in zadrževanje onesnaževal (Gonzales-Mendes in Chavez-Garzia, 2020). Ko je rastni substrat nasičen ali ko voda za namakanje ne more dovolj pronicati, lahko pride do preliva. Ker lahko pogoji prelivanja vplivajo na okolje okoli sistema vertikalne ozelenitve, jih je treba preprečiti in zagotoviti odvajanje prelivne vode v zbiralnik za nadaljnjo uporabo ali izpust v kanalizacijo.

Poleg pogojev prelivanja je treba presežno vodo iz sistema za odvajanje, ki se pogosto uporablja pri živih stenah, zbrati in ponovno uporabiti za trajnostno namakanje. Če se uporablja fertigacija (tj. gnojenje rastlin, združeno z namakanjem), lahko vstopna voda vsebuje hranila in jo je treba odvajati posebej. Ob shranjevanju za ponovno uporabo v daljšem obdobju se lahko razvije biofilm, ki ga je treba upoštevati pri sistemu s ponovno uporabo vode. V sadilnem koritu je na voljo dovolj vode za zagotavljanje optimalnih pogojev za evapotranspiracijo. Vrste rastlin je treba izbrati glede na lokalne razmere ob upoštevanju podnebja in gostote pozidave. Za podrobni matematični opis glejte Prenner in sodelavci (2021).

Predstavljeni model zagotavlja jasno razumevanje pomembnih procesov in vplivnih dejavnikov, ki spodbujajo prakse zbiranja deževnice. Na podlagi vključenih podmodelov je mogoče opredeliti potencialno namakanje z deževnico. Glavni omejevalni dejavnik je zbirno območje (podmodel zbiranja deževnice). Območje strehe je vedno vključeno, padavinski odtok pa se zaradi onesnaževanja ne upošteva. V študiji primera v Berlinu so Nolde in sodelavci (2007) predstavili rešitev za vključevanje padavinskega odtoka v sistema za ponovno uporabo vode. Ker je kakovost vode pomemben vidik, je na voljo poseben podmodul, ki navaja priporočila za čiščenje glede na raven onesnaževal. Izvajanje uporabe deževnice prispeva k trajnosti in krožnosti pri upravljanju voda v mestu. Zato je treba uporabiti konceptualni model za analiziranje možnosti in obsega uporabe deževnice za namakanje.

4 Energija

4.1 Spremljanje učinkov hlajenja sistemov vertikalnih ozelenitev

V preteklosti so bili opravljeni poskusi na različnih sistemih v različnih podnebjih za količinsko opredelitev potenciala sistemov vertikalnih ozelenitev za hlajenje. Senčenje, transpiracija in izolacija (Hoelscher idr., 2016) v poletnih dneh povzročijo znižanje temperatur na površini, kar neposredno vpliva na temperature zunanjih in notranjih stenskih površin. V raziskavah je najpogosteje spremljan kazalnik potenciala sistemov vertikalnih ozelenitev za hlajenje temperatura zunanje stenske površine, ki jo je mogoče v različnih podnebjih znižati za več kot 10 °C (glejte preglednico 4.4). Redkeje se merita temperatura notranjih stenskih površin ali notranja temperatura zraka. Obe sta močno odvisni od konfiguracije stene, dane prostornine zraka v notranjosti ter količine neprozornih površin v primerjavi z oken-skimi površinami in vedenja uporabnikov, zato je ni mogoče posplošiti na širok nabor tipov stavb. Za prenos rezultatov poskusa na niz stavb je mogoče uporabiti simulacijska orodja (glejte razdelek 4.2). Ker se raziskava osredotoča na potencial sistemov vertikalnih ozelenitev za hlajenje, je vpliv sistemov vertikalnih ozelenitev na grajeno okolje ponoči ali pozimi še vedno slabo raziskan. Mazzali (2013) in Hoelscher s sodelavci (2016) so ugotovili, da žive stene in zelene fasade z rastlinami, ki izraščajo iz tal, negativno vplivajo na sposobnost stavbe, da ponoči sprosti odvečno toploto v okolje. Energetsko usmerjena zasnova sistemov vertikalnih ozelenitev mora pri procesnih spremenljivkah in dejavnikih upoštevati statične robne pogoje, kot so urbana morfologija in konfiguracije sten, ter dnevno, sezonsko, letno in dolgoročno dinamiko (npr. podnebne spremembe).

4.1.1 Testna lokacija na univerzi TUB

V letih 2020 in 2021 smo na poskusni lokaciji v kampusu Tehnične universe v Berlinu v Charlottenburgu (52.5136 N, 13.3243 E) spremljali toplotne učinke štirih različnih zelenih fasad z rastlinami, ki izraščajo iz tal. Na notranji in zunanji stenski površini zahodno usmerjene poskusne stene industrijske hale smo namestili temperaturne senzorje (Pt100, Innovative Sensor Technology IST-AG) na tri različne višine (2,8 m, 6,2 m in 9,6 m), in sicer na golo steno in za zeleno fasado, zasajeno z naslednjimi rastlinami, ki izraščajo iz tal: navadni hmelj (*Humulus lupulus*), laški fižol (*Phaseolus coccineus*), vinska trta (*Vitis vinifera*) in grmasti slakovec (*Fallopia baldschuanica*). Poleg tega smo za ozelenitvijo (na višini 4,4 m), na golo steno (na višini 4,4 m in 6,8 m) in horizontalno strešno površino (na višini 12 m) namestili senzorje kratkovalovnega in dolgovalovnega sevanja.

Preglednica 4.4 Eksperimentalne študije o toplotnih učinkih sistemov vertikalnih ozelenitev

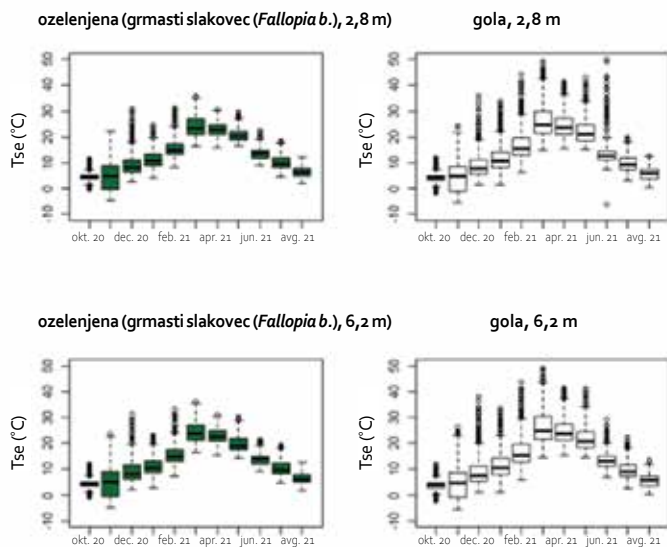
Tip sistema vertikalne ozelenitve	Vrste rastlin	Lokacija	Opis študije	Učinek	Referenca
Zelene fasade z rastlinami, ki izraščajo iz tal	<i>Pyrostegia venusta</i> v koritu, postavljenem na tla	Guangzhou, Kitajska (subtropsko podnebje)	Meritve temperatur notranjih in zunanjih stenskih površin, notranjih temperatur zraka, toplotnih tokov (30. 9., 1. 10. 2018; 14. 9–15. 9. 2018)	Največja znižanja temperature $T_{s, out}$ ozelenjene stene: 14,2 °C Znižanja temperature $T_{a, in}$ v ozelenjenem prostoru do 3,5 °C Povprečna znižanja temperature $T_{a, in}$ v ozelenjenem prostoru za 1,5 °C	Zhang (2019)
	Vzpenjavke	Singapur (tropsko podnebje)	Znižanja temperatur na površini ene postavljene stene	Največja znižanja temperature $T_{s, out}$ ozelenjene stene: 4,36 °C	Wong (2010)
	Divja trta (<i>Parthenocissus tricuspidata</i>)	Jugozahodna fasada; Berlin, Nemčija	Meteorološki parametri, med njimi površina sten in rastlin ter temperature gole stene med 19. 7. in 16. 8. 2013	Največja znižanja temperature $T_{s, out}$ ozelenjene stene: 0,1–11,3 °C	Hoelscher (2016)
	Navadni bršljan (<i>Hedera helix</i>)	Vzhodna fasada; Berlin, Nemčija	Meteorološki parametri, med njimi površina sten in rastlin ter temperature gole stene, izmerjeni med 1. in 6. 8. 2014	Največja znižanja temperature $T_{s, out}$ ozelenjene stene: do 12,3 °C	Hoelscher (2016)
	Grmasti slakovec (<i>Fallopia baldschuanica</i>)	Zahodna fasada, Berlin, Nemčija	Meteorološki parametri, med njimi površina sten in rastlin ter temperature gole stene, izmerjeni poleti 2014	Največja znižanja temperature $T_{s, out}$ ozelenjene stene: do –0,8–6,6 °C	Hoelscher (2016)
	Velecvetna tunbergija (<i>Thunbergia grandiflora</i>)	Kampus Johor Skudai v Maleziji (tropsko podnebje)	Meritve na tri sončne dni poleti 2013	Znižanja temperature T_a za 3,0 °C Znižanja temperature $T_{a, cav}$ ob najbolj vročih urah dneva za 6,5 °C	Safikhani (2014)
Žive stene	Ni določeno	Al-Ain, Združeni arabski emirati, vroče, suho podnebje	Meritve notranjih in zunanjih temperatur zraka ter temperatur stenskih površin med 1. 7. in 1. 8. na vzhodno usmerjeni fasadi	Temperatura $T_{s, out}$ je stalno za 5 °C nižja na ozelenjeni steni; $T_{s, out, max} = 13$ °C	Haggag (2014)

Nadaljevanje preglednice na naslednji strani

Tip sistema vertikalne ozelenitve	Vrste rastlin	Lokacija	Opis študije	Učinek	Referenca
Žive stene	Navadni brin (<i>Juniperus communis</i>), neprava homulica (<i>Sedum spurium</i>), krvavordeča krvomočnica (<i>Geranium sanguineum</i>), modra krvomočnica (<i>Geranium Johnson's blue</i>), vetrnica (<i>Anemone sp.</i>), navadni zimzelen (<i>Vinca minor</i>), divja trta (<i>Parthenocissus tricuspidata</i>), ognjeni dež (<i>Heuchera micrantha</i> Palace Purple), podlesna kadulja (<i>Salvia nemorosa</i>), zimzeleno kosteničevje (<i>Lonicera pileata</i>), lepljivka (<i>Pittosporum tobira</i>), rožmarin (<i>Rosmarinus officinalis</i>), mehkodlaka plahtica (<i>Alchemilla mollis</i>), srčastolistna bergenija (<i>Bergenia cordifolia</i>), misurijski svetlin (<i>Oenothera missouriensis</i>), kapska svinčenica (<i>Plumbago capensis</i>)	Severna Italija, Lonigo, jugozahodno usmerjena stena	Dva dneva (z najvišjo in najnižjo vhodno sončno energijo = od 6. 7. do 21. 9. 2011); meritve temperatur stenske površine, notranje in zunanje temperature zraka ter relativne vlažnosti, hitrosti vetra, toplotnega toka in sončnega sevanja	Odvisnost temperatur površine od višine ni pomembna Temperatura $T_{s,out}$ je na ozelenjeni steni 12–20 °C nižja ob sončnih dnevih Temperatura $T_{s,out}$ je na ozelenjeni steni ~5 °C nižja ob oblačnih dnevih Ponoči je temperatura $T_{s,out}$ na goli steni 2–3 °C nižja kot na ozelenjeni steni	Mazzali, 2013
	Trava	Severna Italija, Benetke, jugozahodno usmerjena stena		Podnevi je temperatura $T_{s,out}$ na ozelenjeni steni do 16 °C nižja kot na goli steni; ponoči je temperatura $T_{s,out}$ na goli steni do 6 °C nižja kot na ozelenjeni steni	Mazzali, 2013
	Trave (<i>Zoysia matrella</i> »Zeon«, <i>Zoysia tenuifolia</i> , <i>Zoysia japonica</i> »El Toro«), prstasti pesjak (<i>Cynodon dactylon</i> X <i>Cynodon trasvalensis</i>) trava sv. Avguštna (»Patriot« <i>Stenotaphrum secundatum</i>), dihondra (<i>Dichondra</i>), trava (<i>Paspalum vaginatum</i>), pesjak (<i>Cynodon transvaalensis</i>)	Severna Italija, Pisa	Dva dneva (z najvišjo in najnižjo vhodno sončno energijo = od 10. 9. do 1. 10. 2009); meritve temperatur stenske površine, notranje in zunanje temperature zraka ter relativne vlažnosti, hitrosti vetra, toplotnega toka in sončnega sevanja	Podnevi je temperatura $T_{s,out}$ na ozelenjeni steni do 12 °C nižja kot temperatura $T_{s,out}$ na goli steni; ponoči je temperatura $T_{s,out}$ na goli steni do 3 °C nižja kot na ozelenjeni steni	Mazzali, 2013

Tip sistema vertikalne ozelenitve	Vrste rastlin	Lokacija	Opis študije	Učinek	Referenca
Žive stene	A: kadok (<i>Piper sarmentosum</i>), Filodendron (<i>Philodendron</i>), kijejka (<i>Cordyline terminalis</i>), šeflera (<i>Schefflera</i>) B: škrlatna vafijevka (<i>Hemigraphis alternata</i>), velecvetni toliščak (<i>Portulaca grandiflora</i>), nefrolepsis (<i>Nephrolepis acutifolia</i>)	National University of Singapore (tropsko podnebje)	Meritve temperature zraka, stenske površine in sevanja v petih dneh (A) in devetih dneh (B) med oktobrom in novembrom 2011 ter januarjem in marcem 2012	V obdobjih visoke ravni vhodnega sončnega sevanja lahko ozelenitev zniža sevalno temperaturo na razdalji največ 1 m pred steno	Tan, 2014
Zelene fasade z rastlinami, ki izraščajo iz tal/žive stene	zelene fasade z rastlinami, ki izraščajo iz tal (navadni bršljan (<i>Hedera helix</i>)) žive stene (različne zimzelene vrste)	Delft, Rotterdam, Benthuisen (vsa mesta so med seboj oddaljena < 20 km), Nizozemska	Meritve temperature zraka in površine ter hitrost vetra pred in za ozelenitvijo fasade ter v njej	Optimalna zmanjšanja hitrosti vetra v manjših zračnih luknjicah (predlagane velikosti 4–6 cm); izmerjena znižanja temperature $T_{s, out}$, temperatura zraka in hitrost vetra sta konstantni med listjem in razdaljo 1 m od stene	Perini, 2011

Na sliki 4.15 je vzorčno prikazan potek temperatur zunanje stenske površine po urah med oktobrom 2020 in avgustom 2021 za ozelenjene in gole stene na dveh različnih višinah. Ozelenjena stena je bila zasajena z grmastim slakovcem (*Fallopia baldschuanica*), trajno listopadno vzpenjavko, ki je bila brez listov od sredine decembra do začetka aprila. Od maja do avgusta 2021 je ozelenitev povzročila znatno znižanje najvišjih temperatur (od $-10,8\text{ °C}$ do $-13,8\text{ °C}$ pri višini 4,4 m in od $-10,5\text{ °C}$ do $-12,9\text{ °C}$ pri višini 6,8 m). V povprečju so znižanja temperature T_{se} znašala med $1,3\text{ °C}$ in $2,2\text{ °C}$ (pri višini 4,4 m) ter med 0 °C in $2,2\text{ °C}$ (pri višini 6,8 m). Višina nima znatnega vpliva na znižanja najvišjih temperatur površine v določenih razmerah, saj so vrednosti v istem razponu. Pozimi (od januarja do marca) je ozelenitev povzročila nekoliko višje najnižje temperature (od $+0,9\text{ °C}$ do $+1,6\text{ °C}$ pri višini 4,4 m in od $+0,9\text{ °C}$ do $+1,5\text{ °C}$ pri višini 6,8 m) in znižanje najvišjih temperatur (od 0 °C do $-6,6\text{ °C}$ pri višini 4,4 m in od $-0,4\text{ °C}$ do $-5,1\text{ °C}$ pri višini 6,8 m). Med ogrevalno sezono se je temu učinku hlajenja mogoče izogniti z izbiro enoletnih vzpenjavk ali odstranljivih sistemov ozelenitve.

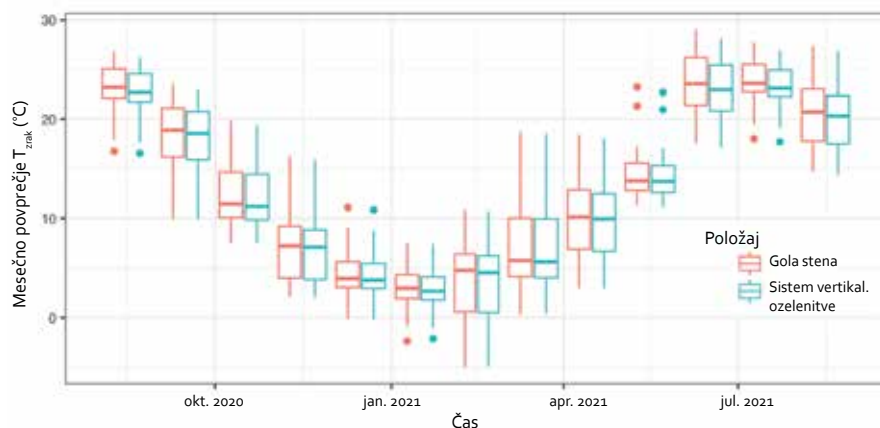


Slika 4.15: Temperature zunanje stenske površine (urne vrednosti) na goli in ozelenjeni (grmasti slakovec (*Fallopia baldschuanica*)) steni v dveh različnih višinah (2,8 m in 6,2 m) (avtorica: Karin A. Hoffmann)

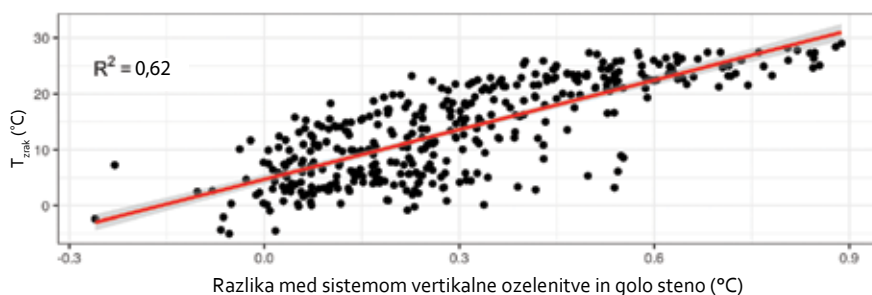
4.1.2 Testna lokacija na univerzi BOKU

Temperaturo zraka smo merili pred sistemov vertikalne ozelenitve v šestih položajih, in sicer na sredini vsake stene ter na vrhu in dnu stene 3. Poleg tega smo merili temperaturo gole stene. Primerjava med povprečno mesečno temperaturo pred sistemom vertikalne ozelenitve (povprečje dnevni vrednosti vseh raziskav) in na goli steni je prikazana na sliki 4.16. Na splošno lahko ugotovimo, da je za sistem vertikalne ozelenitve povprečna vrednost nižja. Razlika v temperaturi se povečuje z zviševanjem skupne temperature zraka (slika).

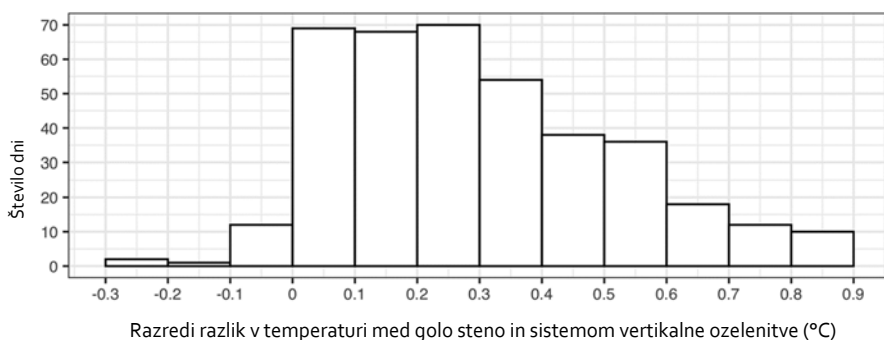
Povprečna dnevna razlika med sistemom vertikalne ozelenitve in golo steno je izračunana in prikazana na histogramu na sliki 4.18, kar omogoča količinsko opredelitev vpliva sistema vertikalne ozelenitve na temperaturo lokalnega zraka. V 76 dneh od skupaj zabeleženih 390 dni je bila povprečna dnevna razlika 0,5 °C ali višja. V desetih dneh je bila povprečna dnevna razlika v temperaturi med 0,8 in 0,9 °C. Za opredelitev učinka namakanja na lokalno temperaturo smo primerjali izmerjeno povprečno dnevno temperaturo na vsaki steni. Avstrijska agencija za podnebne raziskave (ZAMG) kot vroč dan opredeljuje dan z najvišjo temperaturo nad 30 °C. Podatke smo filtrirali glede na najvišjo dnevno temperaturo nad 30 °C in pridobili najdaljše neprekinjeno časovno obdobje. Na slikah 4.19 in 4.20 so prikazane glavne



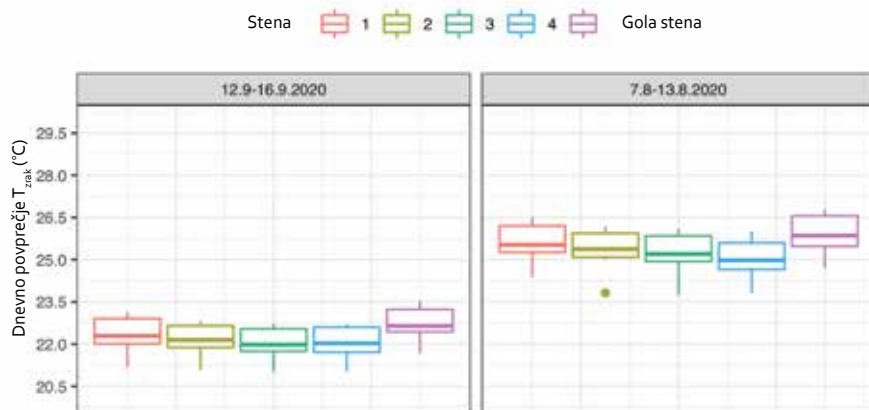
Slika 4.16: Grafikoni kvartilov za sistem vertikalne ozelenitve in golo steno glede na povprečno mesečno temperaturo (avtorica: Karin A. Hoffmann)



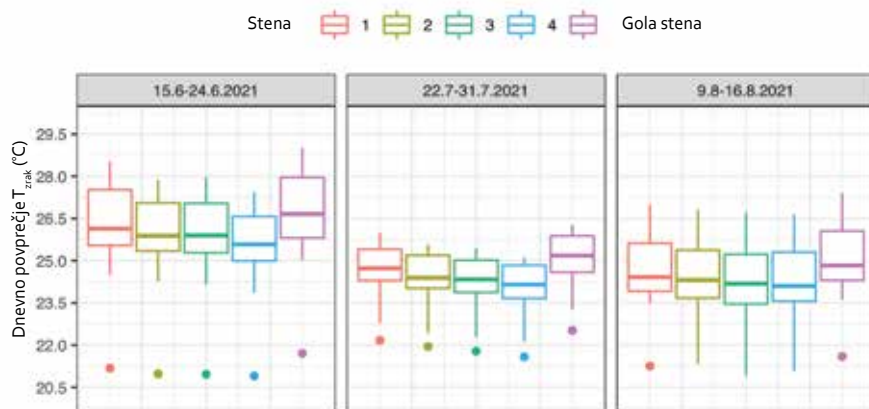
Slika 4.17: Razsevni grafikon in prilagojena linearna regresija za povprečno temperaturo zraka ter izmerjena razlika med golo steno in sistemom vertikalne ozelenitve (vključno z intervalom zaupanja 95 %) (avtorica: Karin A. Hoffmann)



Slika 4.18: Histogram razlike v temperaturi med golo steno in sistemom vertikalne ozelenitve glede na povprečne dnevne vrednosti. Temperaturni intervali imajo razpon 0,1 °C (avtorica: Karin A. Hoffmann)



Slika 4.19: Povprečna dnevna temperatura za posamezno steno v obliki grafikona kvartilov za zaporedne dneve z najvišjo temperaturo nad 30 °C za avgust in september 2020 (avtorica: Karin A. Hoffmann)



Slika 4.20: Povprečna dnevna temperatura za posamezno steno v obliki grafikona kvartilov za zaporedne dneve z najvišjo temperaturo nad 30 °C za junij, julij in avgust (avtorica: Karin A. Hoffmann)

meritve v zvezi z vročimi dnevi za vsako steno. Kot je navedeno zgoraj, višja temperatura zraka povzroči večjo razliko med sistemom vertikalne ozelenitve (v tem primeru stene 1 do 4) in golo steno. Če primerjamo povprečno temperaturo vsake stene sistema vertikalne ozelenitve, lahko ugotovimo, da ima stena 4 nižjo povprečno temperaturo od stene 1. Ta rezultat kaže, da količina oskrbe z vodo lahko vpliva na lokalni učinek hlajenja. To se ujema tudi z ugotovitvijo, ki jo navajajo Gräf in sodelavci (2021), in sicer da imajo rastline, ki trpijo pomanjkanje vode, omejen učinek hlajenja.

4.2 Modeliranje in simulacija učinkov hlajenja sistemov vertikalnih ozelenitev

Potencial sistemov vertikalnih ozelenitev za hlajenje in prihranek energije je odvisen od različnih dejavnikov, na primer danega sistema ozelenitve, njegove zasnove in stanja vzdrževanja, lokalnih podnebnih razmer, konstrukcije in orientacije stavbe ter gradbenih materialov. Obravnavanje sistemov vertikalnih ozelenitev pri urbanističnem načrtovanju zahteva orodja za ocenjevanje potenciala za hlajenje in prihranek energije. V zadnjih letih je bilo razvitih več računalniških orodij za izvajanje simulacij prenosa energija med zunanjim okoljem, sistemom vertikalne ozelenitve, ovojem stavbe in notranjim prostorom. Ta orodja so pogosto razvita za ta namen (Stec, 2005; Kontoleon in Emorfoupoulou, 2010; Šuklje, 2016) ali pa se obstoječi modeli prenosa energije prilagodijo oziroma spremenijo (Carlos, 2015; Djedjig, 2015, Dahanayake in Chow, 2017). Primeri prilagojenih ali integriranih obstoječih modelov so EnergyPlus (DOE, 2015), TRNSYS (TRNSYS, 1975) ali ENVI-met (ENVI-met, 2021). Večina simulacijskih študij se nanaša na žive stene; zelene fasade z rastlinami, ki izraščajo iz tal, in zelene fasade s sistemom uporabe sadilnih posod pa se redkeje ocenjujejo v simulacijskih študijah. V preglednici 4.5 je prikazan pregled izbranih simulacijskih študij o toplotnih učinkih sistemov vertikalnih ozelenitev. Ciljni parametri so običajno temperature stenskih površin ali toplotni tokovi sten, ki se pogosto obravnavajo ločeno za poletje in zimo. Po navadi se torej obravnavajo zmanjšanja obremenitev stavb zaradi hlajenja ali ogrevanja in povezani prihranki energije.

4.2.1 Priprava meteoroloških vhodnih podatkov

Zanesljivost energetskih simulacij stavbe je močno odvisna od kakovosti meteoroloških vhodnih podatkov. Razpoložljivi podatki (npr. DWD, 2021) se po navadi zbirajo za horizontalno ravnino na oddaljenih vremenskih postajah. Za analizo energije na vertikalnih površinah je treba meteorološke parametre prilagoditi vertikalni lokaciji ali je treba vsaj hitrost vetra in sevanje izmeriti na kraju samem (Saad, 2020). Podatki o sevanju, zbrani na horizontalni in vertikalni ravnini v dveh višinah na poskusni lokaciji na univerzi TUB (od 24. 1. do 30. 1. 2021 in od 23. 7. do 29. 7. 2021), kažejo odvisnost od letnega časa in višine (preglednica 4.6, slika 4.21). Zaradi orientacije stene in sosednjih stavb se dnevni potek sevanja na vertikalni ravnini spreminja. Poleg tega imajo lahko različne površine na steni čez dan različne vzorce senčenja ali odboje od sosednjih ovir.

Preglednica 4.5: Izbrane simulacijske študije, ki se nanašajo na prenos energije med ozelenitvijo fasad in stavbami

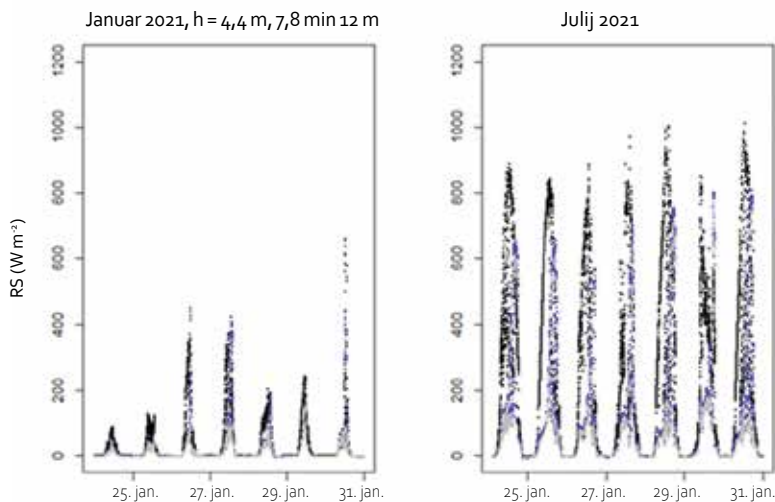
Referenca	Tip ozelenitve fasade	Opis modela	Zasnova študije	Ugotovitve
Peng (2020)	Žive stene	Model zelene fasade ENVI-met in EnergyPlus	Prihranki energije za šest idealiziranih stavbnih blokov	Dnevni prihranki energije 123–347 Wh m ⁻² /poletno zmanjšanje prihrankov energije za hlajenje za 11–31 kWh m ⁻²
Djedjig (2015)	Žive stene	Samorazvit dodatek za TRNSYS	Dve stavbi z vzhodno in zahodno orientacijo v mestih La Rochelle (Francija, oceansko podnebje) in Atene (Grčija, sredozemsko podnebje)	Znižanje toplotne obremenitve za 11,9 % (La Rochelle) in 8,7 % (Atene); znižanje obremenitve zaradi hlajenja za 50,6 % (La Rochelle) in 37,3 % (Atene)
Dahanayake Chow (2017)	Žive stene	Model sistema vertikalne ozelenitve, ki temelji na modelu zelene strehe v EnergyPlus	Izračuni za en dan poleti in en dan pozimi za Hongkong in Wuhan	Največje znižanje temperature zunanje stenske površine na 26 °C, 3-odstotno zmanjšanje letne porabe energije za hlajenje; potencialno povečanje obremenitve zaradi ogrevanja pozimi
Carlos (2015)	Žive stene	Modul zelene strehe v EnergyPlus	Simulacije dveh tipov sten pozimi v mestu Braganca na Portugalskem (sredozemsko podnebje), toplotne prehodnosti: 2,15 W m ⁻² °C ⁻² in 3,25 W m ⁻² °C ⁻²	Pozimi lahko senca rastlin zastira sončno svetlobo in tako preprečuje ogrevanje s sončnim sevanjem (zlasti za južno steno); rastline izolirajo stensko površino z nizko ravno vhodnega sončnega sevanja
Šuklje (2016)	Sistemi z rastlinami, ki izraščajo iz tal	Samorazvit model	Dvoslojna ozelenitev fasade pred dobro izolirano, zmerno izolirano in neizolirano stavbo	Zmanjšanje najvišjih toplotnih tokov v notranji prostor za 77 % pri dvoslojni ozelenitvi fasade; višji učinki hlajenja za manj toplotno izolirane fasade
Stec (2005)	Živa stena s sistemom uporabe sadilnih posod	Samorazvit model	Modeliranje in simulacije dvojne fasade s steklom in rastlinami ali senčili v komori	Boljša učinkovitost hlajenja rastlin v primerjavi s senčili; najvišje temperature 35 °C (rastline) v primerjavi s 55 °C (senčila) v komori
Kontoleon in Emorfoupolou (2010)	Sistemi z rastlinami, ki izraščajo iz tal	Samorazvit model	Poskusna ozelenjena stena v mestu Thessaloniki (Grčija) z različno rastlinsko odejo (0–100 %) in štirimi orientacijami (S–V–J–Z)	Večji učinki hlajenja za vzhodno in zahodno orientirane fasade; priporočena izvedba ozelenitve na slabo izoliranih stenah

Simulacija vhodnih parametrov, na primer podatkov o sevanju, je alternativa meritvam na kraju samem. Sončno sevanje je mogoče simulirati z daljinsko izmerjenimi podatki z naslednje podnebne postaje in z digitalnim modelom višin (DMV), ki predstavlja 3D-model interesnega območja. Za zbiranje ali obdelavo simuliranih podatkov na kraju samem so na voljo komercialni ponudniki, kot je Meteonorm (Meteonorm 2020), ali prosto dostopna orodja (npr. RayMan ali SEBE (Lindberg idr., 2018)). Saad (2020, slika 2) je primerjal dnevne podatke o sončnem sevanju, izmerjene na kraju samem, s simuliranimi podatki v programu RayMan in SEBE.

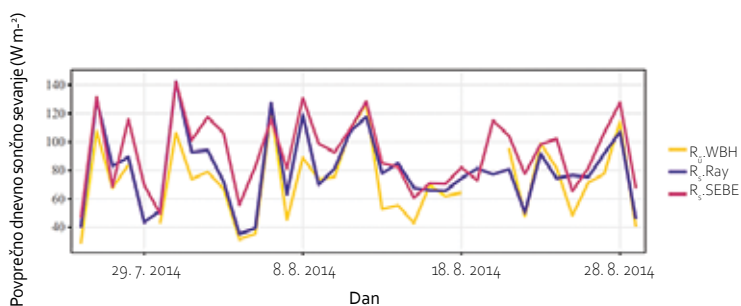
Za model SEBE, vtičnik za geoinformacijski sistem QGIS (QGIS Development team, 2019), je mogoče izboljšati natančnost vhodnega sončnega sevanja na površini stavbe tako, da se prilagodi stopnja prevodnosti lokalne urbane vegetacije, kot predlaga Dienes (2019). Z vključevanjem dinamike olistanja (foliacije) prevladujoče drevesne vrste v Berlinu bi bilo mogoče prilagoditi vzorce dovedene sončne energije v smislu količine in sezonskih nihanj. Na sliki 4.23 so prikazani različni vzorci sončnega sevanja na poskusni steni, ko so izbrane drevesne vrste integrirane v model.

Preglednica 4.6: Sončno sevanje, merjeno en teden v januarju in juliju 2021 na testni lokaciji na univerzi TU Berlin za horizontalno ravnino (na višini 12 m) in vertikalno ravnino (na višini 4,4 m in 7,8 m). Vse vrednosti so navedene v $W m^{-2}$.

Jan./jul.	R_s na horizontalni ali vertikalni ravnini	Višina	Mediana	Povprečje	Maks.
januar	hor.	12 m	0	30,6	660
	vert.	7,8 m	0	14,6	579,5
	vert.	4,4 m	0	11,8	429,9
julij	hor.	12 m	75,7	221,2	1012,0
	vert.	7,8 m	34,1	96,4	810,1
	vert.	4,4 m	27,2	87,1	776,2



Slika 4.21: Sončno sevanje na horizontalni (12 m, črna) in vertikalni površini (7,8 m, modra in 4,4 m, siva) stavbe Wasserbauhalle na univerzi TU Berlin januarja in julija 2021 (avtorica: Karin A. Hoffmann)

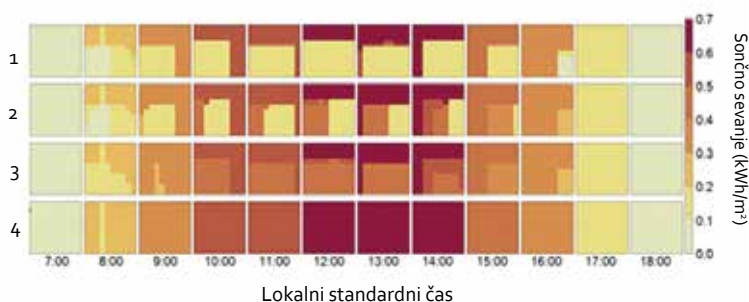


Slika 4.22: Primerjava podatkov o sončnem sevanju, izmerjenih na kraju samem, s simuliranimi podatki v programu RayMan in SEBE (vir: Saad, 2020)

4.2.2 Simulacijsko orodje in simulacija, razvita v okviru projekta

V okviru projekta Vertical Green 2.0 je bilo treba analizirati potencial za prihranek energije za hlajenje na sklopu ustreznih stavb v Berlinu in Ljubljani. Zato smo želeli odgovoriti na pogosto zastavljeno vprašanje, ali imajo lahko izolirane stavbe enake koristi od ozelenitev fasad kot neizolirane stavbe. Za ta namen smo prilagodili enodimenzionalni model prenosa toplote, ki ga je razvil Šuklje (2016). Orodje za

Urno sončno sevanje v senci izbranih drevesnih vrst



Slika 4.23: Vzorci sončnega sevanja na stenski površini za štiri scenarije izvedbe vegetacije pri modelu SEBE: (1) navadna breza (*Betula pendula*), (2) kombinacija navadna breza (*Betula pendula*) + veliki jesen (*Fraxinus excelsior*), (3) veliki jesen (*Fraxinus excelsior*), (4) brez vegetacije (vir: Dienes, 2019)

izračun je na voljo v programskem jeziku R (R CRAN, 2018), za več podrobnosti glejte Hoffmann idr. (2021). Opredelili smo skupino ustreznih stavb in določili parametre za debelino, gostoto materiala, toplotno prevodnost, specifično toplotno kapaciteto in toplotno maso posamezne plasti stene. Izbrane stavbe se razlikujejo v konstrukcijah sten, toplotni izolaciji in funkcijah. Na sliki 4.24 so prikazane tri izbrane stavbe v Berlinu.

Potenciale za prihranek energije smo simulirali za zeleno fasado z eno plastjo vzpenjavk, ki izraščajo iz tal, s prenosom $0,17 \pm 0,02$. Simulirali smo obnašanje v poletnem obdobju (od 1. junija do 30. septembra) za tipično referenčno leto (20-letno povprečje z uporabo zbirke podatkov Meteonorm za Berlin in Ljubljano). Iz teh podatkov je mogoče izpeljati vpadno sevanje za nagnjeno površino. Glede na optimalno razpoložljivost vode za potencialno evaporacijo rastlin smo z enačbo Penman-Monteith v modelu obravnavali evapotranspiracijo.

Ugotovili smo, da imata največji potencial za prihranek energije za hlajenje poslovna hala (zgrajena leta 1954) in montažna panelna stavba (zgrajena po letu 1950). V primerjavi z drugimi konstrukcijami sten imata ti dve stavbi zmerno toplotno izolacijo in zmerno do nizko toplotno maso. Naknadno opremljena različica montažne panelne stavbe (z dodatno izolacijo in visoko stopnjo toplotne izolacije) je imela presenetljivo višji potencial za prihranek energije za hlajenje kot stavbi z nižjo stopnjo toplotne izolacije (tj. stavba Wilhelmine in stanovanjska stavba iz leta 1932). Te



Slika 4.24: zgoraj levo: stavba Wilhelmine, Prenzlauer Berg, Berlin, Nemčija; spodaj levo: poskusna hala v kampusu univerze TU, Berlin, Nemčija; desno: montažna panelna stavba, Berlin, Nemčija (fotografije: Karin A. Hoffmann)

ugotovitve kažejo, da je izbira prednostnih stavb za izvedbo sistemov vertikalnih ozelenitev kot ukrepa za prihranek energije odvisna od posameznega primera, pri čemer je treba upoštevati toplotno izolacijo in toplotno maso, razporeditev plasti materiala in dinamiko lokalnega podnebja.

VIRI IN LITERATURA

- Addo-Bankas, O., Zhao, Y., Vymazal, J., Yuan, Y., Fu, J., in Wei, T. (2021): Green walls: A form of constructed wetland in green buildings. *Ecol. Eng.*, 169(106321). DOI: 10.1016/j.ecoleng.2021.106321
- Allen, R. G., Smith, M., Perrier, A., in Pereira, L. S. (1994): An update for definition of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*, 43(2), str. 1–34.
- Angrill, S., Petit-Boix, A., Morales-Pinzón, T., Josa, A., Rieradevall, J., in Gabarrell, X. (2017): Urban rainwater runoff quantity and quality – A potential endogenous resource in cities? *J. Environ. Manage.*, 189, str. 14–21. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.12.027
- Atanasova, N., Castellar, J. A. C., Pineda-Martos, R., Nika, C. E., Katsou, E., Istenič, D., idr. (2021): Nature-based solutions and circularity in cities. *Circ. Econ. Sustain.*, 1, str. 319 – 332. DOI: 10.1007/s43615-021-00024-1
- Aquastat (2015): *FAO's global information system on water and agriculture*. Dosegljivo na: <https://www.fao.org/aquastat/en/overview/methodology/water-use> (sneto 7. 12. 2021).
- Avellán, T., Roidt, M., Emmer, A., von Koerber, J., Schneider, P., in Raber, W. (2017): Making the Water–Soil–Waste nexus work: Framing the boundaries of resource flows. *Sustainability*, 9(1881). DOI: 10.3390/sug101881
- Berger, A. (v tisku): *Vertical Urban Gardening. DIY vertical crop cultivation on balconies and terraces*. Magistrska naloga. Dunaj, Univerza za naravne vire in živiljenjske vede (BOKU).
- Boano, F., Caruso, A., Costamagna, E., Ridolfi, L., Fiore, S., Demichelis, F., idr. (2020): A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits, *Sci. Total Environ.*, 711(134731). DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134731
- Braunegger R. (2021): *The impact of various irrigation scenarios on plants in a pot based green façade*. Magistrska naloga. Dunaj, Univerza za naravne vire in živiljenjske vede (BOKU).
- Carlos, J. S. (2015): Simulation assessment of living wall thermal performance in winter in the climate of Portugal. *Build. Simul.*, 8, str. 3–11. DOI: 10.1007/s12273-014-0187-2
- Cross, K., Tondera, K., Rizzo, A., Andrews, L., Pucher, B., Istenič, D., idr. (ur.) (2021): *Nature-based solutions for wastewater treatment*. London, IWA Publishing. DOI: 10.2166/9781789062267
- D'Ippoliti, D., Michelozzi, P., Marino, C., de'Donato, F., Menne B., Katsouyanni K., idr. (2010): The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project, *Environ. Health*, 9(37).

Dahanayake, K. C., in Chow, L. C. (2018): Comparing reduction of building cooling load through green roofs and green walls by EnergyPlus simulations. *Build. Simul.* 11, str. 421–434.

DOI: 10.1007/s12273-017-0415-7

Dienes, B. (2019): *Intra-annual and inter-generic variability of transmissivity of solar radiation through crowns of urban trees and its impact on solar radiation on building facades – a modelling approach*. Magistrska naloga. Berlin, Tehnična univerza v Berlinu.

Dingman, S. L. (2015): *Physical hydrology, Third Edit. Ed.* Long Grove, Illinois, Waveland Press.

Djedjig, R., Bozonnet, E., in Belarbi, R. (2015): Analysis of thermal effects of vegetated envelopes: Integration of a validated model in a building energy simulation program. *Energy Build.* 86, str. 93–103. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.09.057

DOE (2015): *EnergyPlus Energy Simulation Software*. Dosegljivo na: <https://energyplus.net/> (sneto 1. 11. 2021).

DVWK (1996): *Merklblatt 238 – Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen*. ISBN 3–935067-84-4.

DWD (2021): *Climate data center*. Dosegljivo na: <https://cdc.dwd.de/portal/> (sneto 1. 11. 2021).

Endlicher, W. (2012): *Einführung in die Stadtökologie*. Stuttgart, UTB.

ENVI-met (2019): *New Features Winter-Release 2018/2019*. Dosegljivo na: <https://www.envi-met.com/media/> (sneto 4. 11. 2021).

Farreny, R., Morales-Pinzón, T., Guisasaola, A., Tayà, C., Rieradevall, J., in Gabarrell, X. (2011): Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. *Water Res.* 45, str. 3245–3254. DOI: 10.1016/j.watres.2011.03.036

Fowdar, H. S., Hatt, B. E., Breen, P., Cook, P. L. M., in Deletic, A. (2017): Designing living walls for greywater treatment. *Water Res.* 110, str. 218–232. DOI: 10.1016/j.watres.2016.12.018

González-Méndez, B., in Chávez-García, E. (2020): Re-thinking the Technosol design for greenery systems: Challenges for the provision of ecosystem services in semiarid and arid cities. *J. Arid Environ.* 179, 104191. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2020.104191

Gräf, M., Immitzer, M., Hietz, P., in Stangl, R. (2021): Water-stressed plants do not cool: Leaf surface temperature of living wall plants under drought stress. *Sustainability*, 13(3910). DOI: 10.3390/su13073910

GrünPlusSchule (2018): *Ein Maßnahmenkatalog für die Begrünung von Schulen im Altbau anhand des Bespieles Gymnasium und Realgymnasium 7, Kandlgasse 39, 1070 Wien*.

GrüneZukunftSchule (2018) *Grün im Schulneubau – Living Wall Systemvorstellung*.

Haggag, M., Hassan, A., in Elmasry, S. (2014): Experimental study on reduced heat gain through green façades in a high heat load climate. *Energy Build.*, 82, str. 668–674.

DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.07.087

Haude, W. (1955): Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. *Mitt. Deutsch. Wetterdienst*, 11.

Hoelscher, M.-T., Nehls, T., Jänicke, B., in Wessolek, G. (2016): Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation. *Energy Build.*, 114, str. 283–290.

DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.06.047

Hoelscher, M. T., Kern, M. A., Wessolek, G., in Nehls, T. (2018): A new consistent sap flow baseline-correction approach for the stem heat balance method using nocturnal water vapour pressure deficits and its application in the measurements of urban climbing plant transpiration. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248, str. 169–176. DOI: 10.1016/j.agrformet.2017.09.014

Hoff, H. (2011): Understanding the Nexus. Referenčni dokument za konferenco Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. Stockholm, Stockholm Environment Institute. Dosegljivo na: <http://sei-international.org/publications?pid=1977> (sneto 2.11.2021).

Hoffmann, K. A., Šuklje, T., Kozamernik, J., in Nehls, T. (2021): Modelling the cooling energy saving potential of facade greening in summer for a set of building typologies in mid-latitudes. *Energy Build.*, 238(1108176). DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.110816

Howarth, C., in Monasterolo, I. (2016): Understanding barriers to decision making in the UK energy-food-water nexus: the added value of interdisciplinary approaches'. *Environ Sci. Pol.*, 61, str. 53–60.

Hunter, A. M., Williams, N. S. G., Rayner, J. P., Aye, L., Hes, D., in Livesley, S. J. (2014): Quantifying the thermal performance of green façades: A critical review. *Ecol. Eng.*, 63, str. 102–113.

DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.12.021

IEA (2019): *2019 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. Dosegljivo na: <https://www.unep.org/resources/publication/2019-global-status-report-buildings-and-construction-sector> (sneto 1. 11. 2021).

Ingvertsen, S. T., Jensen, M. B., in Magid, J. (2011): A minimum data set of water quality parameters to assess and compare treatment efficiency of stormwater facilities. *J. Environ. Qual.* 40, 1488–502. DOI: 10.2134/jeq2010.0420

Jim, C. Y., in He, H. (2011): Estimating heat flux transmission of vertical greenery ecosystem. *Ecol. Eng.*, 37, str. 1112–1122. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2011.02.005

Kaltsidi, M. P., Fernández-Cañero, R., Franco-Salas, A., in Pérez-Urrestarazu, L. (2020): Improving the performance of felt-based living wall systems in terms of irrigation management. *Urban For. Urban Green.*, 54(126782). DOI: 10.1016/j.ufug.2020.126782

Kontoleon, K. J., in Eumorfopoulou, E. A. (2010): The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. *Build. Environ.*, 45, str. 1287–1303. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.11.013

Korb, M. (2018): *Urbaner Weinbau – Die Kultivierung der Edlen Weinrebe (Vitis vinifera subsp. Vinifera) an städtischen Fassaden und Hauswänden -Standort Berlin*. Magistrska naloga. Berlin, Tehnična univerza v Berlinu.

Kühle, L. (2020): *An analysis of obstacles and elaboration of measures for an integrative implementation of façade greening in german cities*. Magistrska naloga. Berlin, Tehnična univerza v Berlinu.

LfL (2011): *Hopfen für alle Biere der Welt – LfL-Information*. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Dosegljivo na: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/p_41404.pdf (sneto 7. 12. 2021).

Lakho, F. H., Vergote, J., Ihsan-Ul-Haq Khan, H., Depuydt, V., Depreeuw, T., Van Hulle, S.W.H., idr. (2021): Total value wall: Full scale demonstration of a green wall for grey water treatment and recycling. *J. Environ. Manage.* 298(113489). DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113489

Lindberg F., Grimmond C. S. B., Gabey A., Huang B., Kent C. W., Sun T., idr. (2018): Urban multi-scale environmental predictor (UMEP) - An integrated tool for city-based climate services. *Environmental Modelling and Software*, 99, str. 70-87. DOI: 10.1016/j.envsoft.2017.09.020

Lee, L. S. H., in Jim, C. Y. (2017): Subtropical summer thermal effects of wire-rope climber green walls with different air-gap depths. *Build. Environ.*, 126, str. 1–12. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.09.021

Leong, J. Y. C., Oh, K. S., Poh, P. E., in Chong, M. N. (2017): Prospects of hybrid rainwater-grey-water decentralised system for water recycling and reuse: A review. *J. Clean. Prod.*, 142, str. 3014–3027. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.167

Leuzinger, S., Hartmann, A., in Körner, C. (2011): Water relations of climbing ivy in a temperate forest. *Planta*, 233, str. 1087–1096. DOI: 10.1007/s00425-011-1363-6

Manso, M., Castro-Gomes, J., Paulo, B., Bentes, I., Teixeira, C. A. (2018): Life cycle analysis of a new modular greening system. *Sci. Total Environ.*, 627, str. 1146–1153. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.198

Masi, F., Bresciani, R., Rizzo, A., Edathoot, A., Patwardhan, N., Panse, D., idr. (2016): Green walls for greywater treatment and recycling in dense urban areas: a case-study in Pune. *J. Water, Sanit. Hyg. Dev.*, 6, str. 342–347. DOI: 10.2166/washdev.2016.019

Masi, F., Langergraber, G., Santoni, M., Istenič, D., Atanasova, N., in Buttiglieri, G. (2020): Possibilities of nature-based and hybrid decentralized solutions for reclaimed water reuse. *Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection*, 5, pp. 145–187. DOI: 10.1016/bs.apmp.2020.07.004

Mathers, H. M., Lowe, S. B., Scagel, C., Struve, D. K., in Case, L. T. (2007): Abiotic factors influencing root growth of woody nursery plants in containers. *Horttechnology*, 17, str. 151–162. DOI: 10.21273/HORTTECH.17.2.151

Matzarakis, A., Rutz, F., in Mayer, H. (2000): Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures. V: de Dear, R. J., Kalm J. D., Oke, T. R., in Auliciem, A. (ur.): *Biometeorology and urban climatology at the turn of the millenium*. Izbrani dokumenti s konference ICB-ICUC'99, Sydney. WCASP-50, WMO/TD No. 1026, str. 273–278.

Mazzali, U., Peron, F., Romagnoni, P., Pulselli, R. M., in Bastianoni, S. (2013): Experimental investigation on the energy performance of Living Walls in a temperate climate. *Build. Environ.* 64, 57–66. DOI: 10.1016/j.buildenv.2013.03.005

Monteith, J. L. (1965): Evaporation and environment. *Proc. Sympos. Soc. Exp. Biol.*, 19, str. 205–234.

Natarajan, M., Rahimi, M., Sen, S., Mackenzie, N., in Imanbayev, Y. (2015): Living wall systems: evaluating life-cycle energy, water and carbon impacts. *Urban Ecosyst.*, 18, str. 1–11. DOI: 10.1007/s11252-014-0378-8

Nehls, T., Peters, A., Kraus, F., in Rim, Y. N. (2020): Water dynamics at the urban soil-atmosphere interface—rainwater storage in paved surfaces and its dependence on rain event characteristics. *J. Soils Sediments*. DOI: 10.1007/s11368-020-02762-5

Nika, C. E., Gusmaroli, L., Ghafourian, M., Atanasova, N., Buttiglieri, G., in Katsou, E. (2020): Nature-based solutions as enablers of circularity in water systems: A review on assessment methodologies, tools and indicators. *Water Res.*, 183(115988). DOI: 10.1016/j.watres.2020.115988

Nolde, E. (2007): Possibilities of rainwater utilisation in densely populated areas including precipitation runoffs from traffic surfaces. *Desalination*, 215, str. 1–11. DOI: 10.1016/j.desal.2006.10.033

OECD (2012): *OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction*. Dosegljivo na: <https://www.oecd.org/g20/topics/energy-environment-green-growth/oecdenvironmentaloutlookto2050theconsequencesofinaction.htm> (sneto 13. 4. 2021).

Oke, T. R. (1982): The energetic basis of the urban heat island. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 108, str. 1–24. DOI: 10.1002/qj.49710845502

ÖNORM EN 16941-1 (2018): On-site non-potable water systems - Part 1: Systems for the use of rainwater. Dunaj, Österreichisches Normungsinstitut.

Oquendo-Di Cosola, V., Olivieri, F., Ruiz-García, L., in Bacenetti, J. (2020): An environmental life cycle assessment of living wall systems. *J. Environ. Manage.*, 254(109743). DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109743

Ottelé, M., Perini, K., Fraaij, A.L.A., Haas, E.M., in Raiteri, R. (2011): Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems. *Energy Build.*, 43, str. 3419–3429.
DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.09.010

Pan, L., in Chu, L. M. (2016): Energy saving potential and life cycle environmental impacts of a vertical greenery system in Hong Kong: A case study. *Build. Environ.*, 96, str. 293–300.
DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.06.033

Pearlmutter, D., Pucher, B., Calheiros, C. S. C., Hoffmann, K. A., Aicher, A., Pinho, P., idr. (2021): Closing water cycles in the built environment through nature-based solutions: The contribution of vertical greening systems and green roofs. *Water*, 13(2165). DOI: 10.3390/w13162165

Pelko, C. D. (2018): *Vertikaler Garten in Wien. Monitoring der Fassadenbegrünung am Amtsg b ude der MA31*. Magistrsko delo. Dunaj, Univerza za naravne vire in  ivljenjske vede (BOKU).

Peng, L. L. H., Jiang, Z., Yang, X., Wang, Q., He, Y., in Chen, S. S. (2020): Energy savings of block-scale facade greening for different urban forms. *Appl. Energy*, 279(115844).
DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.115844

Pérez-Urrestarazu, L. (2021): Water consumption of felt-based outdoor living walls in warm climates. *Urban For. Urban Green.*, 59. DOI: 10.1016/j.ufug.2021.127025

Pérez, G., Coma, J., Martorell, I., in Cabeza, L. F. (2014): Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 39, str. 139–165.
DOI: 10.1016/j.rser.2014.07.055

Perini, K., Ottelé, M., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., in Raiteri, R. (2011): Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Build. Environ.*, 46, str. 2287–2294. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.05.009

Perini, K., in Rosasco, P. (2013): Cost benefit analysis for green facades and living wall systems. *Building and Environment*, 70, str. 110–121. DOI: 10.1016/j.buildenv.2013.08.012

Peters, A., Nehls, T., in Wessolek, G. (2014): Technical note: Improving the AWAT filter with interpolation schemes for advanced processing of high resolution data. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* DOI:10.5194/hess-2016-51, 2016

Prenner, F. (2020): Concepts of rainwater use for the irrigation of vertical greenery systems. Magistrska naloga. Dunaj, Univerza za naravne vire in  ivljenjske vede (BOKU).

Prenner, F., Pucher, B., Zluwa, I., Pitha, U., in Langergraber, G. (2021): Rainwater use for vertical greenery systems: Development of a conceptual model for a better understanding of processes and influencing factors. *Water*, 13(1860). DOI: 10.3390/w13131860

Pucher, B., Riberio, G., Langergraber, G., Zluwa, I., Spörl, P., in Pitha, U. (2020): Entwicklung eines multifunktionalen Living-Wall-Systems zur Reinigung und Nutzung von Grauwasser. *Wasser und Abfall*, 22, str. 37-41.

QGIS Development Team (2019): QGIS Geographic Information System. Open source geospatial foundation project. Dosegljivo na: <http://qgis.osgeo.org> (sneto 15. 10. 2021).

R Core Team (2018): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing. Dosegljivo na: <https://www.R-project.org/> (sneto 15. 10. 2021).

Remund, J., Müller, S., Schmutz, M., Graf, P. (2020): *Meteonorm Version 8*. EUPVSEC 2020, spletna konferenca, 7.–11. 9. 2020.

Riley, B. (2017): The state of the art of living walls: Lessons learned. *Build. Environ.*, 114, str. 219–232. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.12.016

Rubino, M. (2019): Greening potential on building facades: a solar radiation model in urban fabric using GIS. Magistrska naloga. Berlin, Tehnična univerza v Berlinu.

Saad, R. (2020): *Modelling the water demand of urban vertical green based on remote climate station data*. Magistrska naloga. Berlin, Tehnična univerza v Berlinu

Safikhani, T., Abdullah, A. M., Ossen, D. R., in Baharvand, M. (2014): Thermal impacts of vertical greening systems. *Environ. Clim. Technol.*, 14, str. 5–11. DOI: 10.1515/rtuect-2014-0007

Sánchez-Reséndiz, J. A., Ruiz-García, L., Olivieri, F., in Ventura-Ramos, E. (2018): Experimental assessment of the thermal behavior of a living wall system in semi-arid environments of central Mexico. *Energy Build.*, 174, str. 31–43. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.05.060

Sangiorgio, V., Fiorito, F., in Santamouris, M. (2020): Development of a holistic urban heat island evaluation methodology. *Nature Scientific reports*, 10(17913). DOI: 10.1038/s41598-020-75018-4

Schmal, P. (2017): Facade greening for the production of biomass – an energy balance. Magistrska naloga. Berlin, Tehnična univerza v Berlinu.

Schmidt, M. (2010): Ecological design for climate mitigation in contemporary urban living. *Int. J. Water*, 5, 337. DOI: 10.1504/IJW.2010.038727

Segovia-Cardozo, D. A., Rodríguez-Sinobas, L., in Zubelzu, S. (2019): Living green walls: Estimation of water requirements and assessment of irrigation management. *Urban For. Urban Green.*, 46(126458). DOI: 10.1016/j.ufug.2019.126458

Stec, W. J., van Paassen, A. H. C., in Maziarz, A. (2005): Modelling the double skin facade with plants. *Energy Build.*, 37, str. 419–427.

Stefanakakis, A. I. (2019): The role of constructed wetlands as green infrastructure for sustainable urban water management. *Sustainability*, 11(6981). DOI: 10.3390/su11246981

Šuklje, T., Medved, S., in Arkar, C. (2016): On detailed thermal response modeling of vertical greenery systems as cooling measure for buildings and cities in summer conditions. *Energy*, 115, str. 1055–1068. DOI: 10.1016/j.energy.2016.08.095

Susorova, I., Angulo, M., Bahrami, P., in Stephens, B. (2013): A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance. *Build. Environ.*, 67, str. 1–13. DOI: 10.1016/j.buildenv.2013.04.027

Tan, C. L., Wong, N.H., in Jusuf, S. K. (2014): Effects of vertical greenery on mean radiant temperature in the tropical urban environment. *Landsc. Urban Plan.*, 127, str. 52–64. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2014.04.005

Thornthwaite, C. W., in Mather, J. R. (1957): Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in climatology*, 10(3).

Tondera, K., Blecken G.-T., Tournebize, J., Viklander, M., Österlund, H., Tanner, C., in Müller, A. (2018): Emerging contaminants: Occurrence, treatment efficiency and accumulation under varying flows. In: Tondera, K., Blecken, GT., Chazarenc, F., Tanner, C. (eds) *Ecotechnologies for the treatment of variable stormwater and wastewater flows*. SpringerBriefs in water science and technology. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-70013-7_6

Turc, L. (1961): Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. *Ann. Agron. Paris*, 12, str. 13–49.

TRNSYS (1975): *TRNSYS, a Transient Simulation Program*. Wisconsin, University of Wisconsin–Madison, Solar Energy Laboratory.

van de Wouw, P. M. F., Ros, E. J. M., in Brouwers, H. J. H. (2017): Precipitation collection and evapo(transpi)ration of living wall systems: A comparative study between a panel system and a planter box system. *Build. Environ.*, 126, str. 221–237. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.10.002

VertECO (2021): *VertECO: a vertical ecosystem for indoor and outdoor greywater treatment*. Dosegljivo na: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/verteco-vertical-ecosystem-indoor-and-outdoor-greywater-treatment> (sneto 2. 11. 2021).

Wong, N. H., Kwang Tan, A. Y., Chen, Y., Sekar, K., Tan, P. Y., Chan, D., idr. (2010): Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Build. Environ.*, 45, str. 663–672. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.08.005

Zabidi, H. A., Goh, H. W., Chang, C. K., Chan, N. W., in Zakaria, N. A. (2020): A review of roof and pond rainwater Harvesting systems for water security: The design, performance and way forward. *Water*, 12(3163). DOI: 10.3390/w12113163

Zhang, L., Deng, Z., Liang, L., Zhang, Y., Meng, Q., Wang, J., in Santamouris, M. (2019): Thermal behavior of a vertical green facade and its impact on the indoor and outdoor thermal environment. *Energy Build.* 204, 109502. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.109502

Zraunig, A., Estelrich, M., Gattringer, H., Kisser, J., Langergraber, G., Radtke, M., idr. (2019): Long term decentralized greywater treatment for water reuse purposes in a tourist facility by vertical ecosystem. *Ecol. Eng.*, 138, str. 138–147. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2019.07.003



IZZIVI PRI NAČRTOVANJU, UPRAVLJANJU IN FINANCIRANJU VERTIKALNIH OZELENITEV V MESTNEM OKOLJU

Jana Kozamernik^a, Ina Šuklje Erjavec^a, Simon Koblar^a, Damjana Gantar^a,
Doris Schnepf^b, Emil Rösch^c, Marlies Marcher^b

^a Urbanistični inštitut republike Slovenije, Ljubljana, Slovenija

^b Green4Cities, Dunaj, Avstrija

^c Oddelek za ekohidrologijo in vrednotenje krajin, Inštitut za ekologijo,
Tehnična univerza v Berlinu, Berlin (TUB), Nemčija

5. del Izzivi pri načrtovanju, upravljanju in financiranju vertikalnih ozelenitev v mestnem okolju

1	Razumevanje načrtovanja in upravljanja vertikalnih ozelenitev <i>Ina Šuklje Erjavec, Jana Kozamernik</i>	176
2	Načrtovanje in upravljanje vertikalnih ozelenitev na Dunaju (Avstrija), v Berlinu (Nemčija), v Ljubljani (Slovenija) in Tajpeju (Tajvan) <i>Ina Šuklje Erjavec (anketo so izvedli: Karin A. Hoffmann, Irene Zluwa, Damjana Gantar, Nina Goršič, Chung-Kee Yeh)</i>	179
2.1	Načrtovanje vertikalnih ozelenitev	181
2.2	Zakonodaja, povezana z vertikalnimi ozelenitvami	191
2.3	Drugi pomembni vidiki upravljanja v zvezi z vertikalnimi ozelenitvami	193
3	Izzivi pri načrtovanju vertikalnih ozelenitev na mestni ravni <i>Jana Kozamernik, Ina Šuklje Erjavec</i>	195
3.1	Ravni načrtovanja – od mestne ravni do ravni stavbe	197
3.2	Vidiki, povezani z vertikalnimi ozelenitvami	198
3.3	Urbanistično načrtovanje in vplivi VO na mestni prostor	199
3.4	Vključevanje tematik vertikalnega ozelenjevanja v urbanistično načrtovanje	202
3.5	Priporočila o sistemih VO na ravni strateškega načrtovanja	206
4	Rezultati projekta Vertical Green 2.0 za podporo pri načrtovanju in upravljanju vertikalnih ozelenitev <i>Jana Kozamernik, Ina Šuklje-Erjavec, Simon Koblar, Damjana Gantar, Emil Rösch, Marlies Macher</i>	209
4.1	Urbana morfologija mest Berlin, Dunaj in Ljubljana – katalog urbane tipologije	209
4.2	Vertikalne ozelenitve in stavbe kulturne dediščine	213
4.3	Tipologija urbanega grajenega tkiva na podlagi <i>Urbanega atlasa</i> – analiza urbane strukture za Berlin, Dunaj in Ljubljano	218
4.4	Geoinformacijska podpora za določitev primanjkljaja zelene infrastrukture v urbanih območjih	223

5	Finančni vidiki vertikalnih ozelenitev s pristopom financiranja na naravi temelječih rešitev	229
	<i>Doris Schnepf</i>	
5.1	Možnosti financiranja na naravi temelječih rešitev	230
5.2	Modeli financiranja za projekt Vertical Green 2.0	240
	Viri in literatura	250

Peti del knjige obravnava različne vidike in možnosti vključevanja vsebin, povezanih z vertikalnimi ozelenitvami (VO), v načrtovanje in upravljanje na različnih ravneh, kar lahko pomembno vpliva na razvoj in izvedbo VO v praksi. **Prvo poglavje (1)** z naslovom *Razumevanje načrtovanja in upravljanja vertikalnih ozelenitev* pojasnjuje naše razumevanje splošnih vprašanj in odnosa med konceptom VO in prostorskim načrtovanjem kot dela upravljanja mest. **Drugo poglavje (2)** predstavlja poročilo o raziskavi trenutnega stanja glede vključenosti tem, povezanih z VO, v načrtovanje in upravljanje za trajnostni in družbeno odgovoren urbani razvoj v Avstriji, Nemčiji, Sloveniji in Tajvanu ter zlasti v mestih Dunaj, Berlin, Ljubljana (in Tajpej). Pri tem se opiramo na podatke, informacije in dokumente, pridobljene z analizo obstoječega stanja v obravnavanih mestih Berlin, Dunaj, Ljubljana in Tajpej, ter na podatke, pridobljene z drugimi projektnimi dejavnostmi: delavnicami in intervjuji z deležniki ter spletnimi anketami. Z njimi smo iskali odgovore na vprašanja o stališčih različnih skupin deležnikov glede koristi in ovir za izvedbo VO ter njihovih (poklicnih) izkušnjah na tem področju. V **tretjem poglavju (3)** obravnavamo praktične izzive načrtovanja VO na ravni mesta. Predstavljamo in utemeljujemo, zakaj je treba načrtovanje VO obravnavati sistematično in strateško. V **četrtem poglavju (4)** predstavljamo nekaj rezultatov projekta, ki lahko podpirajo procese načrtovanja in upravljanja razvoja VO v mestih. Podrobneje predstavljamo: 1 – pristop za razvoj kataloga urbane morfologije kot orodja za vrednotenje različnih območij mesta s stališča primernosti za izvajanje VO; 2 – dileme med varstvom kulturne dediščine in VO; 3 – razlago, kako podatke iz Urbanega atlasa uporabiti za analizo grajenega tkiva mesta, in 4 – metodologijo geoinformacijske podpore za določitev primanjkljaja zelene infrastrukture v mestnih območjih, ki je lahko korak k opredelitvi prednostnih območij za izvedbo VO na ravni mesta. **Zadnje poglavje (5)** je namenjeno vprašanjem financiranja v zvezi s konceptom na naravi temelječih rešitev (NTR, angl. *Nature-based solutions*, krajše NBS) ter vsebuje razlago morebitnih načinov in modelov financiranja, ki bi se lahko uporabljali za izvedbo vertikalnih ozelenitev.

1 Razumevanje načrtovanja in upravljanja vertikalnih ozelenitev

Ozelenitev fasad in drugih vertikalnih površin za izboljšanje življenjskega in naravnega okolja v mestih je razmeroma nov pristop pri načrtovanju in upravljanju sodobnih mest, čeprav imajo fasade in stene, prekrite z rastlinami, dolgo zgodovino (glejte 1. del). Skozi čas sta se uporaba VO in poznavanje njihovih prednosti zmanjšala, v zadnjem času pa je to postala zgolj osebna odločitev lastnika ali del arhitektovega oblikovalskega sloga. Ozelenitev fasad je bila ponovno odkrita šele v zadnjih desetletjih in je postala nov trend gibanja za blažitev podnebnih sprememb ter izboljšanje mestnega okolja. Za obravnavano temo je zlasti pomembna ugotovitev, da je povečanje prisotnosti rastlin v mestih pomembno za njihov trajnostni razvoj ter izboljšanje njihove odpornosti in primernosti za življenje. Vendar pa sama prisotnost ali povečanje števila rastlin ni dovolj za dejansko izboljšanje kakovosti življenja v mestnih okoljih. Za doseg številnih koristi zelenih površin in vegetacije v mestnem okolju je treba zagotoviti njihovo sistematično, vključujoče, povezano in celovito načrtovanje in vzdrževanje.

Že v zgodnji fazi razvoja koncepta zelene infrastrukture so bile zelene stene in strehe prepoznane kot pomembne zelene prvine in zato eden od elementov zelene infrastrukture. Ta koncept pomeni razmeroma nov pristop k načrtovanju mestnih zelenih površin. Namenjen je zagotavljanju in povezovanju ključnih ekosistemskih storitev, ki prispevajo k trajnosti mest in naravnemu okolju oziroma ju izboljšujejo. Zelena infrastruktura je opisana tudi kot mreža zelenih površin in vodnih sistemov, ki zagotavljajo različne vrste okoljskih, gospodarskih in družbenih vrednot in koristi za trajnostni razvoj mest. Ta izraz se nanaša na vse elemente zelene infrastrukture, ki neposredno ali posredno izboljšujejo naravno okolje ter vključuje zelene strehe, zelene stene, parke in rezervate, dvorišča in vrtove, plovne poti in mokrišča, ulice in prometne koridorje, poti in zelene koridorje, trge, športna igrišča in kopališča (World Green Infrastructure Network, 2021).

Koncept zelene infrastrukture se je razvil v devetdesetih letih 20. stoletja na podlagi načel krajinske ekologije kot odziv na težave s širjenjem ubranih območij. Še vedno pa ga spremlja velika mera dvoumnosti, saj se različno uporablja v različnih znanstvenih disciplinah, politikah in pobudah za načrtovanje. Zelena infrastruktura je tako še vedno bolj koncept kot pa dobro razvit pristop k načrtovanju, zlasti kadar se nanaša na različne tipe njenih elementov. V praksi zato tudi številna pomembna vprašanja, povezana z načrtovanjem, upravljanjem in financiranjem zelenih sten (in zelenih streh), še vedno ostajajo neodgovorjena. Koncept ima visoko raven pod-

pore in pozornosti v mednarodni politiki, še vedno pa obstajajo razprave o tem, ali bi zelena infrastruktura morala imeti ekološki poudarek, ki daje prednost ohranjanju biotske raznovrstnosti, ali se osredotočati na družbeno-kulturne in gospodarske vidike (Hansen idr., 2021). V Evropski uniji je zelena infrastruktura postala poznana kot »strateško načrtovana mreža naravnih in polnaravnih območij, pri čemer so druge okoljske značilnosti zasnovane in upravljane tako, da opravljajo širok nabor ekosistemskih storitev« (Evropska komisija, 2013).

Dokument Zelena infrastruktura – izboljšanje evropskega naravnega kapitala (Evropska komisija, 2013) določa nov prednostni cilj evropskih strateških programov in razvojnih politik za obdobje 2014–2020; ta dokument je eno najpomembnejših orodij za razumevanje vrednosti ekoloških, gospodarskih in družbenih koristi, ki jih človeška družba lahko pridobi iz naravnega okolja, ter ustrezno uveljavljanje teh koristi (ekosistemskih storitev). Vendar pa ni nobenega sistematičnega pregleda, kako so različne evropske države v zadnjih desetih letih ta koncept vključevale v prakso načrtovanja (Hansen idr., 2021). Različne države EU v nacionalnih planskih dokumentih in praksah načrtovanja uporabljajo različne razlage in pristope v zvezi z izvajanjem načrtovanja zelene infrastrukture. Poleg tega so podobni pristopi, kot so načrtovanje strategije zelenih površin, načrtovanje zelenega sistema in drugi celoviti pristopi prostorskega načrtovanja, v številnih državah dobro razviti in se uspešno izvajajo ter so del rednih, zakonsko predpisanih postopkov prostorskega načrtovanja in zakonodaje na področju razvoja mestnih zelenih površin.

Z vidika celovitega načrtovanja zelenih območij je treba jasno opredeliti vse tipe zelenih površin in vodnih teles, ki so relevantna na načrtovanem območju, saj je le tako mogoče doseči ustrezno prenašanje strateških odločitev, rešitev in smernic za načrtovanje in oblikovanje različnih zelenih površin na podlagi regionalnih, občinskih ali drugih lokalnih prostorskih načrtov. Taka tipologija hkrati ustvarja podlago za analizo in oceno preskrbljenosti območja, kar zadeva različne vidike zelenih površin in opredelitev potreb, potencialov, ciljev in razvojnih smernic za njihove izboljšave.

Vertikalne ozelenitve in zelene strehe so posebne prvine in tipi zelenih območij, ki se močno razlikujejo od drugih tipov v tem, da so dejansko del stavb. To pomeni, da ti tipi zelenih površin zahtevajo drugačne pristope pri načrtovanju in upravljanju kot običajne zelene površine. So hkrati tip zelene površine (ali element zelene infrastrukture) v mestu ali naselju z vsemi koristmi in omejitvami, ki izhajajo iz naravnih značilnosti, ter so hkrati neločljivi deli stavb. Tako imajo v vseh fazah svojega razvojnega procesa dvojni značaj. To je treba upoštevati v vseh korakih in na vseh ravneh, vključno z oblikovanjem pobude, odločanjem, vrednotenjem,

načrtovanjem, oblikovanjem, financiranjem, izvajanjem in upravljanjem dejavnosti, ter pri opredelitvi deležnikov.

Na tej točki se postavljata vprašanji, kdaj in kako je treba zahteve in smernice za izvedbo vertikalnih ozelenitev (VO) obravnavati v postopku urbanističnega načrtovanja, da bodo koristile mestu ter tudi lastnikom in prebivalcem stavb. Ali naj bo taka ozelenitev del gradbenih predpisov, načrtovanja zelenih površin in odprtih prostorov, načrtov za prilagajanje podnebnim spremembam, načrtov za zeleno infrastrukturo, načrtov za lokalni zeleni razvoj in projektov podrobnega urbanističnega načrtovanja? Ali jo je sploh treba načrtovati ali pa je bolje le podpreti vlagatelje, ki so pripravljeni izvesti VO? Kako lahko ocenimo in dosežemo vse možne koristi VO in na kateri ravni to naredimo? Kdo naj financira VO glede na to, da koristijo širšemu urbanemu območju in mestu? Kdo naj prevzame in financira upravljanje VO po končani gradnji?

Kot smo predstavili in utemeljili v prejšnjih poglavjih, so učinki in koristi VO veliko obsežnejši od neposrednega učinka na samo stavbo. Zelene fasade veliko bolj kot klasične fasade vplivajo ne le na stavbe, na katerih so izvedene, temveč tudi na bližnjo in širšo okolico. Če so izvedene v dovolj velikem obsegu, da se njihove koristi združujejo in so na ustreznih lokacijah, lahko ozelenjene fasade pozitivno vplivajo tudi na mesto kot celoto. Kot je predstavljeno v 2. delu knjige, načrtovanje, izvajanje in upravljanje VO vključujejo različne sektorje in deležnike. To pa pomeni več izzivov, povezanih z zagotavljanjem ustreznih pogojev za zeleni razvoj VO na ravni mest, njihovih območij in posameznih stavb. Vrednote, mnenja in motivacije deležnikov imajo zelo velik vpliv na vprašanja upravljanja mest, vključno s tem, kako vzpostaviti ustrezne povezave in sinergije med raznolikimi dejavnostmi in ukrepi različnih sektorjev, ravnmi načrtovanja in temami dokumentov ter v okviru odločanja o VO in njihovega financiranja in upravljanja.

Iz prakse vemo, da so zelene strehe veliko bolj razvito področje kot VO, zato so tudi bolj in pogostejše vključene v sisteme prostorskega načrtovanja, zakonodajo in planske dokumente na različnih ravneh. Glede na zgoraj navedene skupne značilnosti, ki izhajajo iz dvojne narave teh dveh tipov zelenih ureditev, je mogoče izkušnje in pristope glede zelenih streh uporabiti kot model pri obravnavanju in prizadevanjih za razumevanje vidikov načrtovanja, vodenja in upravljanja VO. Pri tem je treba upoštevati eno pomembno razliko. Ker so zelene strehe vodoravne, imajo veliko večji potencial, da so zasnovane kot javno (ali zasebno) dostopne zelene površine kot pa VO, zato mnogo lažje izpolnjujejo različne družbene funkcije in zagotavljajo večnamenskost rabe zelenih površin. Ker so vertikalne ozelenitve navpične, so njihovo oblikovanje ter financiranje in upravljanje kot večnamenski

prostor veliko bolj zahtevni in zapleteni. To je treba upoštevati pri obravnavanju VO kot možnih nadomestnih ureditev dostopnih zelenih površin ali drugih odprtih javnih prostorov. VO ne morejo v celoti nadomestiti drugih urbanih zelenih površin, zlasti ne tistih, namenjenih javni uporabi. Seveda obstajajo načini, kako zasnovati zasebno (ali celo javno) dostopne površine z vertikalnimi ozelenitvami, kot so stolpnica *Bosco Verticale* v Milanu in podobne stavbe z zasebno ali javno dostopnimi zelenimi terasami in balkoni, ki sestavljajo prvino vertikalne ozelenitve stavbe, vendar pa to še ni običajna praksa. Zelena fasada na stavbi IKEA na Dunaju je bila na primer zasnovana kot javno dostopna, v praksi pa ta dostop (še) ni ureničen.

Zato želimo izpostaviti, da so VO kot tip urbane zelene površine zlasti pomembne v tistih urbanih okoljih in okoliščinah, v katerih drugi tipi zelenih površin niso izvedljivi oziroma so manj primerni za omilitev okoljskih problemov in izboljšanje kakovosti življenjskih razmer. To so po navadi zelo gosto pozidana urbana območja ali območja mest, ki jih je v skladu s strateškim načrtovanjem zelenih površin treba ohranjati bolj zelena, ker so deli zelenih klinov in zelenih koridorjev. Poleg tega so VO kot zelene površine pomembne predvsem kot dodatni ukrep za izboljšanje situacije ter kot pristop trajnostnega načrtovanja in oblikovanja pri prenovi ali novogradnji v mestih in drugih grajenih območjih.

2 Načrtovanje in upravljanje vertikalnih ozelenitev na Dunaju (Avstrija), v Berlinu (Nemčija), v Ljubljani (Slovenija) in Tajpeju (Tajvan)

Strokovna skupina Urbanističnega inštituta Republike Slovenije (UIRS) je ob pomoči partnerjev iz vseh štirih sodelujočih mest in držav izvedla anketo obstoječega stanja formalnih in neformalnih tipov načrtovanja in upravljanja VO. Cilj ankete je bil pridobiti vpogled v prakse in dokumente upravljanja za podporo izvajanju in upravljanju VO v sodelujočih mestih. Podrobnejši vpogledi v različne prakse načrtovanja in upravljanja v zvezi z izvedbo VO v Avstriji (s posebnim poudarkom na Dunaju), Nemčiji (Berlin), Sloveniji (Ljubljana) in Tajvanu (Tajpej) so predstavljeni v nadaljevanju.

Čeprav so vsa sodelujoča mesta glavna mesta, se zelo razlikujejo po velikosti, podnebnih razmerah, urbani strukturi, razmerju med zelenimi površinami in grajenimi območji ter deležu zelenih površin na prebivalca, zato jih ni mogoče neposredno

primerjati. Prav tako smo že vnaprej vedeli, da se obravnavane države in mesta zelo razlikujejo glede na stopnjo izvajanja zelenih sten v trenutni praksi urejanja mesta, zlasti kar zadeva sodobne oblike VO večstanovanjskih in javnih stavb. Kljub temu smo predvidevali, da lahko bolj poglobljen vpogled v različne situacije načrtovanja in upravljanja v zvezi z VO omogoči boljše razumevanje procesa njihovega razvoja. Z analizo posameznih situacij in kontekstov smo tudi opredelili primere in izkušnje, ki bi lahko bili uporabni za različna mesta.

Da bi pridobili enakovredno razumevanje teh različnih situacij, smo se odločili za metodološko enoten pristop k raziskavi. Zato smo pripravili skupni okvir za analizo z več sklopi vprašanj, povezanimi z vključevanjem VO v uveljavljene oblike formalnega in neformalnega načrtovanja, v zakonodajo in v nekatere druge pomembne vidike upravljanja, ki smo jih opredelili kot posebej pomembne v obravnavanem kontekstu. Tako smo pridobili primerjalni pregled različnih pristopov k načrtovanju in upravljanju na državni, mestni in lokalni ravni za vse štiri primere. Vsebinsko te ankete so predhodno pregledali in potrdili vsi partnerji projekta, ki so nato odgovarjali na vprašanja za svoje države in mesta. Anketa je bila sestavljena iz več tematskih sklopov z obsežnim naborom vprašanj v zvezi z načrtovanjem in upravljanjem. Namen odgovorov na ta vprašanja je bil, da bi partnerjem, ki izpolnjujejo dokument, pomagali bolje razumeti tako kompleksno vsebino.

Poleg vprašanj v zvezi z zakonodajo in načrtovanjem so bile vloge, sodelovanje in mnenja deležnikov opredeljena kot ključni dejavniki upravljanja mest v zvezi z VO. Kot največji in najvidnejši akter pri upravljanju mest so bili prepoznani mestna uprava in mestni občinski svet. Najpomembnejša naloga mestne uprave je izvesti ali zagotoviti potrebno komunikacijo, vključitev in sodelovanje z vsemi drugimi deležniki, kot so prebivalci, zasebni lastniki, podjetja, nevladne organizacije, agencije za raziskave in načrtovanje ter drugi javni akterji, ki lahko močno vplivajo na urbani razvoj. Ker je upravljanje v celoti politično, je odvisno ne le od političnih in gospodarskih sistemov ter sistemov načrtovanja in zakonodaje, temveč tudi od sposobnosti in znanja vladnih ustanov za sprejemanje odločitev o novih konceptih urbanega razvoja ter za njihovo prepoznavanje in podpiranje. Poleg tega na upravljanje pogosto močno vplivajo vrednote, stališča in motivacije različnih vključenih deležnikov.

Poleg ugotovitev iz anketne raziskave o načrtovanju in upravljanju smo uporabili tudi informacije in ugotovitve iz skupnega projektnega dogodka Delavnica o prihodnosti, ki je potekala v Berlinu. Delavnica, na kateri so sodelovali deležniki iz vseh treh sodelujočih evropskih mest, nam je pomagala bolje razumeti, kako različni deležniki gledajo na ovire in koristi VO ter kakšne rešitve in dejavnosti bi potrebovali

za izvedbo VO na ravni mest v prihodnosti. Poglobljeni razgovori in delavnice z deležniki in predstavniki mestne uprave in javnih služb v Ljubljani so nam omogočili boljše razumevanje vloge posameznih oddelkov znotraj mestne uprave in delovnih korakov, ki so potrebni za uspešen proces izvedbe VO od začetka do konca, in za zagotavljanje kontinuitete upravljanja. Dodatne vpoglede v mnenja različnih deležnikov smo pridobili iz odgovorov v spletnem vprašalniku, ki je bil pripravljen za štiri različne skupine deležnikov ter je bil izveden v Sloveniji, Berlinu in na Dunaju (več informacij o tem je v 2. delu knjige).

2.1 Načrtovanje vertikalnih ozelenitev

Anketna raziskava je obravnavala, kako so VO vključene v zakonsko predpisane, formalne in pravno zavezujoče postopke izdelave strategij, izvajanja in načrtovanja na državni, regionalni in mestni/lokalni ravni. Z njo smo želeli tudi raziskati, ali in kako so VO vključene v neformalno, neobvezujoče načrtovanje na mestni in lokalni ravni (ki ga na različne načine podpira mestna ali državna uprava ali drugi deležniki, vendar ni uradno zavezujoče). Poleg tega smo preverjali, katere mednarodne smernice in dokumenti so upoštevani v sistemih načrtovanja in zakonodaji različnih držav in mest ter ali so VO v različnih nacionalnih dokumentih in zakonodajnih aktih že obravnavane kot na naravi temelječa rešitev.

2.1.1 Zakonsko predpisano, formalno načrtovanje

Formalno, zakonsko predpisano načrtovanje pomeni izdelavo pravno zavezujočih, obveznih razvojnih in varstvenih dokumentov, aktov, pravil in predpisov. Raziskovalna vprašanja se v tem pogledu osredotočajo na to, kako je izvedba VO vključena v pravne dokumente in kakšna so njihova priporočila ali smernice. Stanje smo raziskali tako za strateške kot izvedbene dokumente ter za tri ravni načrtovanja in razvoja: državno, regionalno in mestno. Ugotovili smo, da v kontekstu aktualne raziskave regionalna raven ni pomembna, saj se v Sloveniji na tej ravni do zdaj še ni izvajalo zakonsko predpisano načrtovanje, Dunaj je hkrati opredeljen kot regionalna in mestna enota, Berlin pa kot mesto in mestna dežela. Na Tajvanu VO na nobeni ravni formalno niso del sistema strateškega načrtovanja.

Strateški dokumenti na državni ravni:

Podatki, pridobljeni v raziskavi, kažejo, da so VO kot tematsko področje redko navedene v kakršnih koli strateških dokumentih na državni ali regionalni ravni. Pogosteje se ta vsebina vključuje posredno, v cilje in vizije različnih nacionalnih strateških dokumentov, ki se nanašajo na različne evropske strateške dokumente in direktive, kot je Strategija EU za biotsko raznovrstnost do leta 2030, Prilagodit-

vena strategija EU, Strategija EU za zeleno infrastrukturo in Direktiva o energetske učinkovitosti stavb. VO so na splošno navedene med primeri, kako uresničiti vizijo ali cilj povečanja količine zelenja znotraj urbanih območij za izboljšanje biotske raznovrstnosti in blažitev podnebnih sprememb.

- V **Avstriji** so VO posredno vključene zaradi zahteve, da se v nacionalnih strategijah uporabljajo mednarodni dokumenti (ES), na primer Zelena infrastruktura – izboljšanje evropskega naravnega kapitala (Evropska komisija, 2013), ki zelene fasade opredeljuje kot pomemben element zelene infrastrukture, ter Direktiva o energetske učinkovitosti stavb, ki med drugim spodbuja rešitve z zeleno infrastrukturo, kot so zelene strehe in stene, ki lahko pomagajo znižati emisije toplogrednih plinov.
- V **Nemčiji** so VO navedene med ukrepi za doseganje ciljev preoblikovanja mestnih krajin v zelena naselja in povečanja količine zelenja v neposredni okolici stanovanjskih območij. Ti cilji so bili določeni v Nacionalni strategiji za biotsko raznovrstnost za leto 2007 (BMUB, 2007), Idejna zasnova za urbana naravna območja zveznega ministrstva za okolje, ohranjanje narave in jedrsko varnost (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2019) in v dokumentu Bela knjiga: Zelene površine v mestu (*White Paper: Green Spaces in the City*), ki ga je pripravilo ministrstvo BMUB (2017). Regionalna strategija – razvojni načrt mesta v zvezi s podnebnimi razmerami iz leta 2011 (Land Berlin, 2011) za Berlin določa, da je treba v Berlinu obnoviti stavbni fond tako, da bo odporen na podnebne spremembe, in da je treba uporabiti zelene fasade, kjer je to mogoče.
- V **Sloveniji** so VO posredno omenjene v dokumentih Strategija razvoja Slovenije 2030 in Strategija prostorskega razvoja Slovenije 2050 (osnutek), in sicer v delu, ki se nanaša na zeleno infrastrukturo, zmanjševanje učinka toplotnega otoka v mestih in zelene sisteme.
- V **Tajvanu** VO na nobeni ravni formalno niso del sistema strateškega načrtovanja.

Strateški dokumenti na mestni ravni

Izvedba VO je podobno kot na državni in regionalni ravni tudi na mestni ravni del vizije in ciljev različnih razvojnih načrtov mest v vseh sodelujočih evropskih mestih. Iz odgovorov v anketi lahko ugotovimo, da so vertikalne ozelenitve povezane zlasti s podnebnimi problemi, vendar pa imata samo Dunaj in Berlin v okviru razvojnih načrtov mesta pripravljene tudi smernice za VO.

- Na **Dunaju** se ozelenjene fasade obravnavajo kot ukrep za preprečevanje učinkov toplotnega otoka v mestu ter so navedene v pravno zavezujočih dokumentih na mestni ravni v okviru Strategije pametnega mesta (*Smart City Strategy*), Strategije zmanjševanja učinkov toplotnega otoka v mestih (*Urban*

Tematski koncept zelenih površin in odprtih prostorov Step 2025 (**Step 2025 Thematic Concept Green and Open Spaces**) izvedbo VO opredeljuje kot enega od ukrepov za razvoj ureditev tipa 01: živahne ulične krajine in območja za pešce (*Type 01: Lively streetscapes and pedestrian zones*). To je eno od 12 tipov območij, ki so pri načrtovanju mesta opredeljena kot zelene površine in odprti prostori ter zagotavljajo enotno orodje, ki ga lahko strokovni oddelki, uradi za načrtovanje in odločevalci uporabijo pri načrtovanju zelenih in odprtih površin na Dunaju.

Opis tipa: Ulične površine in območja za pešce z ureditvami za vadbo in počitek za pešce in kolesarje, kontinuiran prostor, ki omogoča prečkanje prometnih površin brez tveganja.

Primeri: Mariahilfer StraÙe, Stephansplatz, RotenturmstraÙe

Funkcije

- Za vsakdanjo rabo in rekreacijo (zlasti za pešce in kolesarje, za počitek, srečanja, komunikacijo in uživanje hrane).
- Potencialno prispeva tudi k strukturiranju urbanega tkiva (urbano mreženje/povezave).

Strategije: Izboljšanje in zagotavljanje možnosti prehoda za nemotorizirani promet.

Naloge: Omogočanje sajenja visokokakovostnih dreves, uporabe mikro odprtih prostorov, ustvarjanje območij za počitek brez trgovskih programov, **spodbujanje ozelenitev fasad**, vrtovi pred stavbami in vrtovi ob uličnih kavarnah.

Upravičenost vertikalnih ozelenitev: Rastline in ozelenitve fasad pomembno prispevajo k prijetnemu okolju odprtih prostorov; bistveno manjši delež motoriziranega individualnega prometa izboljšuje pogoje njihove uporabe, čeprav promet še vedno zahteva veliko površin. Za ta tip odprtega prostora je še zlasti pomembno, da se načrtuje v tesni povezavi s pritličji stavb. Prilagodljive možnosti izvedbe omogočajo večjo raznolikost in nižje stroške vzdrževanja. [...] Ozelenitev fasad, vrtovi pred stavbami in gostinski vrtovi motivirajo lokalne prebivalce, da vedno bolj prevzemajo odgovornost za odprte prostore.

Heat Island Strategy), Koalicijskega programa vlade deÙele Dunaj (*Coalition Program of the Government of Vienna*) in Načrta urbanega razvoja Dunaja: STEP 2025 (*Urban Development Plan Vienna: STEP 2025*). Več podrobnosti o tem vsebuje tematski dokument Tematski koncept zelenih površin in odprtih prostorov (*Thematic Concept Green and Open Spaces*). VO so vključene v različne teme razvojnih načrtov mesta. Smernice so pripravljene samo za določena urbana območja in so povezane z načrti rabe tal ter se uporabljajo samo za nove ali obnovljene stavbe. Na Dunaju velja tudi gradbeni predpis, povezan z VO, ki določa, da »mora biti na novih stavbah določene višine 20 % uličnih fasad izvedenih kot VO«.

- V **Berlinu** so cilji, ki omenjajo vertikalne ozelenitve, povezani s podnebnimi razmerami. VO so vključene v dokument Razvojni načrt mesta v zvezi s podnebnimi razmerami (*City Development Plan Climate*, Stadt Berlin, 2011), ki je poseben dokument, kot so tudi Razvojni načrt mesta v zvezi s stanovanji do leta 2030 (*City Development Plan Housing 2030*), Razvojni načrt mesta v zvezi z mobilnostjo in prometom (*City Development Plan Mobility and traffic*) in Razvojni načrt mesta v zvezi s središčem (*City Development Plan Centres*). Izvajanje VO je del različnih meril. V dokumentu Usmeritve za načrtovanje – mestno podnebje 2015 (Land Berlin, 2015) so navedene smernice v zvezi z VO. Ta dokument je bil pripravljen za mesto kot celoto, za različne tipe rabe tal in specifična urbana območja, ne pa tudi za specifične tipe stavb. Ta ukrep se obravnava kot prednostna naloga zaradi učinkov, povezanih s človekovim življenjskim okoljem in večnamenskostjo, kar se nanaša na
 - možnost izvedbe VO, zlasti na poseljenih območjih z visokimi toplotnimi obremenitvami;
 - FLL 2000 za tehnično zasnovo in vzdrževanje VO;
 - odgovornost za sisteme VO nalaga lastnikom stavb.

Razvojni načrti mesta Berlin vključujejo priporočila za nadaljnje načrtovanje in so v skladu z nacionalnimi gradbenimi predpisi oblikovani kot zasnove (člen 1, šesti odstavek, točka 11, predpisa BauGB). V zvezi s tem je posebej zanimiva praksa zagotoviti »zeleno kakovost« središča mesta Berlin z uporabo faktorja površine biotopa (Biotope area factor – BAF; Biotopflächenfaktor/ BFF; Land Berlin, 2021).

Faktor **BAF** izraža razmerje med ekološko učinkovito površino in skupno površino. Primeri učinkovite rabe tal naravnega okolja vključujejo prepustne površine, površinska vodna telesa ter ozelenitve streh in fasad.

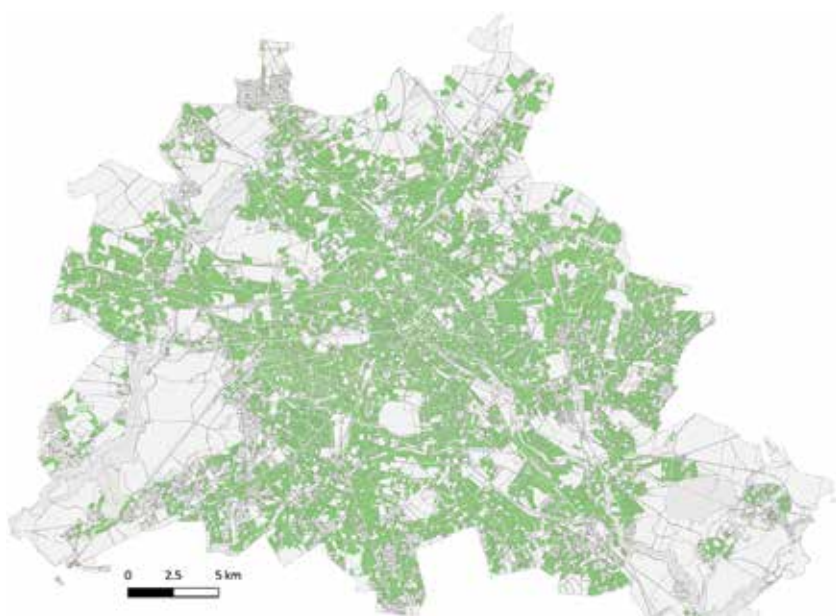
Izračun faktorja BAF

BAF = ekološko učinkovite površine/skupne površine

Pri tem izračunu se posamezni deli zemljišča ponderirajo glede na njihovo »ekološko vrednost«.

Med tipi površin in utežnimi faktorji na m² so tudi tipi, povezani z VO:

- **Vertikalna ozelenitev, neposredno povezana s tlemi** (neposredna povezava VO z zemljo oz. raščenim terenom, oskrba s hranili in vodo neposredno iz korenin v zemlji) ima *utežni faktor 0,5 na m²*.
- **Vertikalna ozelenitev brez povezave s tlemi** (rastline, ki se vzpenjajo po steni v navpični ali vodoravni smeri brez neposredne povezave korenin z zemljo v tleh, npr. trajna korita z umetnim namakanjem, ki oskrbujejo rastline) ima *utežni faktor 0,7 na m²*.



Slika 5.1: Urbana območja v Berlinu, priporočila za ukrep 15 – ozelenitev fasad (vir: Umweltatlas, 2021)

- V **Ljubljani** se izvedba VO povezuje s cilji na področju kakovosti okolja, ki so namenjeni zmanjšanju vpliva urbanizacije na podnebne spremembe, prilagajanju podnebnim spremembam, zaščiti pridelovalnega potenciala tal in spodbujanju različnih oblik proizvodnje hrane za lokalno samooskrbo, vključno s proizvodnjo na strehah in terasah (Odlok o Strateškem načrtu Mestne občine Ljubljana, Priloge k občinskemu prostorskemu načrtu; Mestna občina Ljubljana, 2010). Poleg tega se je Mestna občina Ljubljana v strateškem in izvedbenem delu dokumenta Trajnostna urbana strategija MOL 2014–2030 zavezala, da bo prispevala k izboljšanju področja prometa/mobilnosti z razvojem zelene infrastrukture in uporabo na naravi temelječih rešitev, saj je to priznan način za izboljšanje podnebnih razmer na regionalni ravni. Strateški del poleg drugih razdelkov opredeljuje naslednje prednostne cilje za zelene površine:
 - Izgradnja novih zelenih elementov (zelene strehe, stene, »zelene dnevne sobe« itd.) na opredeljenih območjih do leta 2016. Ta cilj je povezan s pobudo Ljubljana – Zelena prestolnica Evrope 2016.
 - Izgradnja novih zelenih elementov (zelene strehe, stene, »zelene dnevne sobe« itd.) na dodatnih opredeljenih območjih do leta 2020.
 - Gradnja zelenih območij, mestnih drevoredov, zelenih parkirišč, zelenih streh in sten itd. do leta 2050 za pomoč pri blaženju podnebnih sprememb in prilagajanju nanje ter uravnavanje urbane mikroklimе za preprečevanje pregrevanja.

Kartiranje vertikalnih ozelenitev

Odgovori na vprašanja o grafičnih prikazih območij z načrtovanimi VO v planskih dokumentih so pokazali, da noben dokument oziroma prostorski načrt ni vključeval kart, ki bi neposredno predstavljale območja, načrtovana za izvedbo VO. To ni presenetljivo glede na dvodimenzionalno naravo grafičnih prikazov na kartah in vertikalnost VO. V razvojnem dokumentu za Berlin z naslovom Karta z usmeritvami za načrtovanje; Mestno podnebje 2015 (Land Berlin, 2015), ki je priložen spletni različici atlasa urbanega razvoja Berlina in njegovega okolja (*Atlas of Berlin Urban Development and its Environment*), je prikazana karta, ki predstavlja toplotno onesnažena poseljena območja, na katerih so zelene fasade priporočene in opredeljene kot prednostni ukrep zaradi njihovih številnih ugodnih učinkov na človekovo življenjsko okolje.

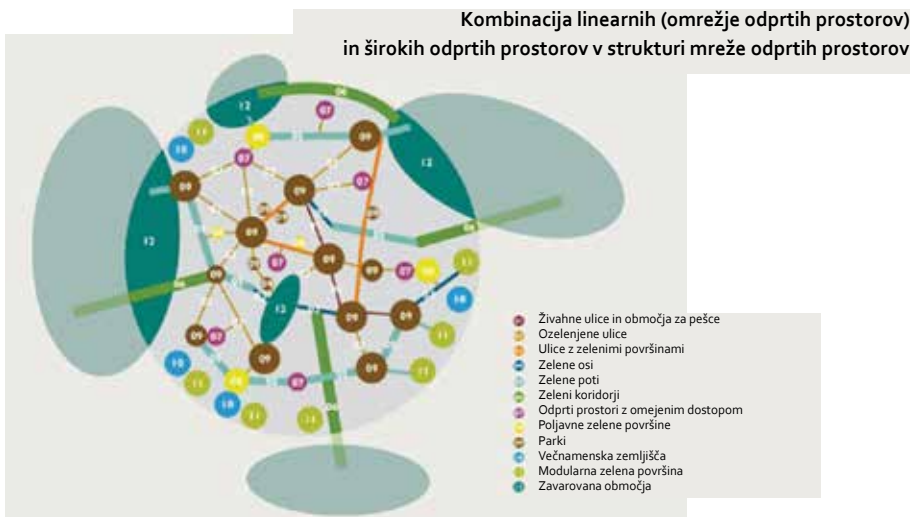
Poleg tega smo pri analizi dokumentov opazili, da so VO včasih na kartah prikazane posredno prek različnih tipologij načrtovanja odprtih in zelenih površin kot ukrep razvoja odprtih prostorov. Tako je v dokumentu Tematski koncept zelenih površin in odprtih prostorov Step 2025 VO opredeljena kot ukrep odprtega prostora tipa 01: Živahne ulične krajine in območja za pešce (*Type 01: Lively streetscapes and pedestrian zones*). Ta tipologija linearnih in odprtih mestnih prostorov je predstavljena na karti z naslovom Shematski prikaz omrežja zelenih in odprtih površin (*Schematic illustration of the green and open space network*) (glejte sliko 5.2).

Še en primer posrednega kartiranja VO je načrt **zelenega sistema mesta Ljubljana** s karto, ki predstavlja zelene kline, na katerih je izvedba zelenih streh (in VO) vključena kot smernica za načrtovanje območja (glejte sliko 5.3).

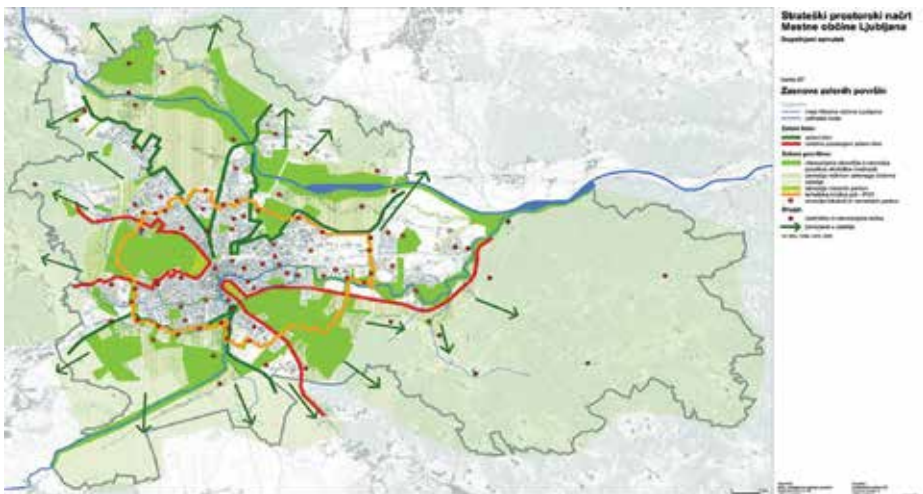
Projektni in izvedbeni dokumenti

V tem delu raziskave smo preverjali, ali v sodelujočih državah obstajajo kakršni koli standardi, priporočila ali smernice glede VO na državni ali mestni ravni (občinski načrt ali odlok), in sicer s treh naštetih vidikov: načrtovanje, izvajanje in vzdrževanje VO.

V Avstriji je bil leta 2021 sprejet nov standard za vertikalne ozelenitve (ÖNORM LL1136). Standard opredeljuje načela in zahteve za VO stavb ter se uporablja za načrtovanje, izvedbo in vzdrževanje trajnih zelenih sten in zunanjih površin stavb. To vključuje tudi ozelenitev sten s koriti za rastline, ki so postavljena ali obešena na stenah. Standard ÖNORM se lahko uporablja za ozelenitev pergol, suhih zidov, gabionov, protihrupnih pregrad in samostojnih konstrukcij. Uporablja se tudi za zidove z naklonom od 30° do 150°, na katerih je mogoče posaditi zelenje.



Slika 5.2: Shematski prikaz omrežja zelenih površin in odprtih prostorov, vključno s tipom 01: Živahne ulične krajine in območja za pešce, pri katerem so VO predlagane kot ukrep (vir: Stadt Wien, 2015)



Slika 5.3: Odlok o občinskem prostorskem načrtu Mestne občine Ljubljana – strateški del, Karta zelenega sistema (Mestna občina Ljubljana, 2010).

V Berlinu so priporočila in smernice za projektiranje, izvedbo in vzdrževanje VO del dokumenta Usmeritve za načrtovanje – mestno podnebje v Berlinu za leto 2015 (Land Berlin, 2015). Ta dokument se nanaša na smernice FLL 2000, ki obravnavajo funkcije in vpliv VO, zakonske zahteve v zvezi z gradnjo, izbiro rastlin, opore za vzpenjavke, omejitve ozelenjevanja in vzdrževanje. Vertikalne ozelenitve so prav tako prepoznane kot možnost za izpolnitev faktorja površine biotopa (BAF) in izboljšanje okoljskih razmer na območju. V Berlinu skoraj 50 % vseh krajinskih načrtov vsebuje BAF kot cilj načrtovanja.

2.2.2 Neobvezujoče, neformalno načrtovanje

V anketi smo obravnavali tudi neobvezujoče, neformalno načrtovanje, ki ga na različne načine podpira mestna ali državna uprava ali drugi deležniki, vendar ni uradno zavezujoče. Dokumenti so največkrat pripravljeni na podlagi smernic razvoja, spletnih mest z informacijami javnega značaja, razpisov za projekte in financiranje ter različnih pobud od spodaj navzgor. V anketi smo spraševali, ali so vertikalne ozelenitve obravnavane pri:

- načrtovanju ukrepov na mestni ravni;
- načrtovanju ukrepov na lokalni ravni;
- državnih/regionalnih posegih na lokalni ravni, ki jih podpira vlada;
- posegih na lokalni ravni, ki jih podpira mesto;
- javno-zasebnih partnerstvih na ravni posamezne stavbe.

Načrtovanje ukrepov na državni, regionalni in mestni ravni

Iz odgovorov in dokumentov lahko ugotovimo, da je načrtovanje ukrepov na mestni ravni ustaljena praksa na Dunaju in v Berlinu.

Glavno mesto oziroma zvezna dežela Dunaj je razvila tudi smernice in priporočila za projektiranje, izvedbo in vzdrževanje VO za javno rabo za vso Avstrijo, vendar pa te smernice niso obvezne (Stadt Wien, 2019). Ozelenitev fasad je tema v okoljskem atlasu mesta Dunaj (*Environmental Atlas of the City of Vienna*; Stadt Wien, 2021a). Med javno dostopno zbirko kart in načrtov ter projektov oddelka za varstvo okolja mesta Dunaj (MA 22) je predstavljen tudi popis ozelenitev fasad (Stadt Wien, 2021b). Razvrščen je v tri tipe VO: ozelenitev, ki je vezana na tla, ozelenitev, vezana na fasade, in mešani sistemi. Vsak od teh tipov je predstavljen s fotografijami lokacij fasade, razlago imena, naslovom, rabo in datumom izgradnje stavbe ter opisom tipa zelene fasade, uporabljenih rastlin, ozelenjene površine in vidnosti iz javnih prostorov. Vsako informacijsko polje vsebuje tudi povezavo do opisa tipov ozelenitve fasade in primerov najboljše prakse, tehtnih razlogov za uporabo zelenih sten, njihovih prednosti, ustreznih nasvetov in virov financiranja za ozelenitev

fasad s povezavami do brezplačnega svetovanja in vlog za izdajo gradbenih dovoljenj. Na voljo so tudi informacije o razpoložljivih nepovratnih sredstvih za financiranje s povezavami. Ozelenitev stavb – nasveti in subvencije (*Building greening – advice and subsidies*) je prav tako eno od tematskih področij razdelka Prostorski razvoj (*Spatial Development*) na spletnem mestu Varstvo okolja in podnebja (*Environment and Climate Protection*) mesta Dunaj. Za podporo izvajanju VO so na voljo smernice za upravne ukrepe in potrebna dovoljenja za VO, ki so predstavljene kot kontrolni seznam (Stadt Wien, 2021c), ki obravnava ozelenitev fasad na zasebni lastnini ali drugih območjih, ki niso javno dobro, ter za fasade, dostopne z javnih površin, kot so pločniki. Načrtovanje ukrepov je vzpostavljeno tudi na lokalni ravni v obliki projektov okrožja, kot je 50 Green Houses (50GH, 2019).

V Nemčiji so določena priporočila in smernice na državni ravni za vse tri vidike razvoja, projektiranje, izvedbo in vzdrževanje VO, vključno z zahtevami glede rastlin (FLL, 2018). Poleg tega nevladna organizacija »Grüne Liga Berlin« ponuja svetovanje za ozelenitev dvorišč ter organizira tekmovanja za najbolj estetsko prijetno dvorišče in najboljše dvorišče za druženje.

V Sloveniji so VO kot tip zelene površine vključene v nacionalne smernice Zeleni sistemi v mestih in naseljih: usmerjanje razvoja zelenih površin, ki so del državne prostorskega reda in so kot take uradni vodilni dokument za slovenske občine. Leta 2021 je Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije objavilo tudi Priporočila za ozelenitev streh in vertikalnih površin (Čufer in Ribič, 2021).

V mestnem prostorskem načrtu v Tajpeju (Tajvan) so navedena priporočila in smernice za projektiranje, izvedbo in vzdrževanje vertikalnih ozelenitev.

Podpora javne uprave

Podpora javne uprave za izvedbo VO prihaja iz nacionalnih ali regionalnih vlad ali samih mest oziroma občin. Med mestnimi upravami, vključenimi v to raziskavo, največjo podporo izvedbi VO zagotavlja mesto Dunaj, ki prek različnih programov in razpisov za izvedbo VO podpira izvedbo na zasebnih in javnih stavbah ter daje pobude od zgoraj navzgor. Obstajajo različni projekti akcijskega načrtovanja na lokalni ravni, na primer *50 Green Houses*. Državno in regionalno podporo za take projekte zagotavlja avstrijska raziskovalna agencija (www.ffg.at) ali podnebni in energetski sklad Klimafond (<https://www.klimafonds.gv.at/projekte/>).

V **Berlinu** se je med letoma 1983 in 1995 izvajal obsežni program, ki je financiral ozelenitev dvorišč, vključno z vertikalnimi ozelenitvami. Program je financiral 1.643 projektov in pomagal ozeleniti 740.000 m² dvorišč in fasad ter 65.000 m²

streh v Berlinu. Trenutno poteka program za ozelenitev streh v Berlinu, imenovan *1000 Grüne Dächer* (1.000 zelenih streh). Pobuda berlinskega senata in berlinske agencije za vodo, imenovana »Berliner Regenwasseragentur«, ponuja svetovanje o uporabi deževnice pri ozelenitvi streh. Koalicijski sporazum berlinske deželne vlade (po državnih volitvah 26. septembra 2021) omenja razširitev programov ozelenitev streh tudi na področje ozelenitev fasad.

Primeri iz Berlina:

Program »Klimaanpassung in sozialen Einrichtungen« (2020–2023): Financiranje strateškega svetovanja, konceptualizacije in izvedbe ter kampanj ozaveščanja in izobraževalnih programov za prilagajanje podnebnim spremembam v socialni infrastrukturi; med drugim je kot ukrep pri gradnji predlagana izvedba ozelenitev streh in vertikalnih ozelenitev.

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2020–2023)
- Klimaanpassung in sozialen Einrichtungen; <https://www.z-u-g.org/aufgaben/klimaanpassung-in-sozialen-einrichtungen/>

Glede na tržno poročilo za leto 2020, ki ga je pripravilo Zvezno združenje za ozelenitev stavb (BuGG), 45 od 191 nemških mest z več kot 50.000 prebivalcev, ki so vključena v poročilo, zagotavlja finančno podporo za izvedbo VO. https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Marktreport/BuGG-Marktreport_Gebaeudegruen_2020_high_.pdf

V **Ljubljani** ni nobenega pomembnega primera projekta, ki bi podpiral zelene stene, obstajalo pa je nekaj uspešnih pobud in projektov za zelene strehe. Delovna skupina iz UIRS je s predstavniki vseh ključnih oddelkov in služb mestne uprave izvedla vrsto poglobljenih razgovorov in delavnico o možnosti izvedbe vertikalnih ozelenitev v mestu Ljubljana. Razgovori z občinskimi uradniki so pokazali, da podpirajo in spodbujajo izvedbo vertikalnih ozelenitev, če obstaja kakršna koli pobuda vlagateljev, kot najobetavnejšo obliko sodelovanja pa vidijo javno-zasebna partnerstva. Šole, domovi za ostarele in druge javne stavbe so prepoznani kot najprimernejše stavbe za izvedbo javno financiranih vertikalnih ozelenitev. Vendar pa ob pripravi tega dokumenta javna uprava ni zagotavljala nobenega formalnega sodelovanja (razpisi, programi itd.) ali financiranja. Ko smo podrobneje preučevali podporo javne uprave na mestni ravni, smo ugotovili, da v javni upravi:

- nimajo jasno opredeljenih odgovornosti za izvedbo VO,
- nimajo določenih postopkov naročanja za izvedbo VO;
- niti ni upravljanje VO del rednega javnega upravljanja mest.

Javno-zasebna partnerstva na ravni stavbe

Na Dunaju obstaja več različnih oblik in primerov javno-zasebnih partnerstev za izvedbo VO na ravni stavbe. Tak primer je program Sodelovanje lastnikov stavb pri vzdrževanju fasade (*Cooperation of House owners maintaining the façade*), pri katerem stroške za VO financira avstrijska raziskovalna agencija. Vlada mesta Dunaj prav tako uporablja lastne stavbe kot usmerjevalne projekte za VO ter ima številne dobre primere, kot so MA 48, MA 31 in različne šolske stavbe.

V Ljubljani obstaja manjše partnerstvo med občino in javnim zavodom za varstvo otrok, imenovano Mala ulica, prav tako pa obstajajo primeri ukrepov zasebnih podjetij v nakupovalnem središču BTC City, kjer so bile na nekaterih stavbah izvedene manjše zelene stene kot izravnalni ukrep za izpolnjevanje zahtev faktorja zelenih površin.

2.2 Zakonodaja, povezana z vertikalnimi ozelenitvami

Kot del vidikov načrtovanja in upravljanja na področju VO smo v anketi obravnavali obstoječe stanje zakonodaje v zvezi z vprašanji VO v različnih sektorjih, vključno s prostorsko zakonodajo, gradbeno zakonodajo, zakonodajo o kulturni dediščini ter zakonodajo o preprečevanju nevarnosti in varnosti/protipožarni zaščiti in okoljevarstveno zakonodajo. Uporabljena vprašanja so predstavljena v preglednici (slika 5.4).

Ugotovimo lahko, da VO (še) niso tema področja razvoja in upravljanja mest. Ob pripravi tega dokumenta v nobeni od sodelujočih držav v projektu Vertical Green 2.0 okoljska zakonodaja ni opredeljevala VO kot na naravi temelječo rešitev, niti kot ekosistemsko storitev ali prvino zelene infrastrukture. So pa določene vsebine VO neposredno ali posredno vključene v prostorsko zakonodajo, gradbeno zakonodajo, zakonodajo o protipožarni zaščiti in zaščiti pred strelo ter zakonodajo o kulturni dediščini v Avstriji in Nemčiji ter zakonodajo na regionalni ravni na Dunaju in v Berlinu.

V Nemčiji so VO zakonsko opredeljene kot predmet načrtovanja in so vključene v zakonodajo o prostorskem načrtovanju na regionalni ravni. Tržno poročilo za leto 2020, ki ga je pripravilo Zvezno združenje za ozelenitev stavb (BuGG, 2020), kaže, da je približno 41 % od 191 nemških mest z več kot 50.000 prebivalcev, ki so vključena v poročilo, v lokalnih pravno zavezujočih razvojnih načrtih navajalo VO. VO so delno obravnavane tudi v zveznem zakonu o varstvu narave (Bundesnaturschutzgesetz, BNatSchG) z vidika obravnave invazivnih rastlinskih vrst ali zaščite ogroženih vrst (pomembno za vzdrževanje VO) oziroma kot izravnalni ukrep

ZAKONODAJA V ZVEZI Z VERTIKALNIMI OZELENITVAMI			
PROSTORSKA ZAKONODAJA – VO so vključene v načrtovanje		da	ne
Označite polje	Za načrtovanje na državni ravni	☐	☐
	Za načrtovanje na regionalni ravni	☐	☐
	Za načrtovanje urbanih območij	☐	☐
	Za območja rabe tal	☐	☐
Drugo			
GRADBENA ZAKONODAJA		da	ne
Označite polje	VO je opredeljena kot tip fasade	☐	☐
	VO je opredeljena kot bio- ali ekofasada	☐	☐
	VO je opredeljena kot grajen konstrukcijski element (protihrupnih pregrad, podpornih zidov itd.)	☐	☐
Drugo			
ZAKONODAJA O KULTURNI DEDIŠČINI		da	ne
Označite polje	VO ni dovoljena na stavbah kulturne dediščine	☐	☐
	VO so del obnove kulturne dediščine	☐	☐
Drugo			
ZAKONODAJA O PREPREČEVANJU NEVARNOSTI IN VARNOSTI/PROTIPOŽARNI ZAŠČITI		da	ne
Označite polje	Višina stavb predstavlja omejitev za VO	☐	☐
	Zasnova fasade (razmerje med površino zasteklitve in fasade, terase itd.) predstavlja omejitev za VO	☐	☐
Drugo			
OKOLJEVARSTVENA ZAKONODAJA		da	ne
Označite polje	VO je opredeljena kot ekosistemska storitev	☐	☐
	VO je opredeljena kot na naravi temelječa rešitev rešitev	☐	☐
	VO je opredeljena kot zelene infrastruktura (ali njen del)	☐	☐
Drugo			
Druge razlage in komentarji			

Slika 5.4: Vprašanja, uporabljena za raziskovanje stanja zakonodaje v zvezi z VO (avtorica: Ina Šuklje Erjavec)

za gradbene projekte (primeri so navedeni v informacijskem sistemu izravnalnih ukrepov za Berlin).

V Avstriji se VO bolj vključujejo v zakonodajo o prostorskem načrtovanju za ubrana območja in gradbene predpise. Kakor že navedeno, je bil v Avstriji

leta 2021 sprejet nov standard za VO (ÖNORM LL1136). Področje VO je tudi del gradbenih predpisov mesta Dunaj (člen 5, četrti odstavek točke k/člen 83), ki vključujejo zahtevo, da mora biti vsaj 20 % uličnih fasad dolžine 7,5–26 m v novozgrajenih območjih izdelanih kot VO.

Poleg tega je bilo sprejetih nekaj ukrepov o omejitvah v zvezi z VO, zlasti v povezavi z zakonodajo s področij kulturne dediščine in preprečevanja nevarnosti. Tako je na Dunaju treba preveriti ustreznost VO za fasade na stavbah kulturne dediščine. Standard ÖNORM B 3800-5 (preizkusi varnosti stanovanjskih stavb – redni preizkusi kot del vizualnih pregledov in neporušitvenih preizkusov) pa opredeljuje zahteve za vertikalne ozelenitve na stavbah, ki imajo več kot tri nadstropja. V teh primerih je treba pustiti 1 m nad oknom in 20 cm na obeh straneh okna prazen prostor med nadstropji stanovanjskih stavb.

V Berlinu in drugje v Nemčiji mora lokalni organ za spomenike za stavbe/komplekse, ki spadajo v območje dediščine, izdati dovoljenje za izvedbo posamezne VO, kot je navedeno v smernicah za ozelenitev fasad (FLL 2018). Ta dokument opisuje tudi zahteve požarne varnosti, kar zadeva različne dele in materiale fasade. Zahteve so navedene kot nacionalne norme ter se razlikujejo glede na morfologijo in funkcijo stavbe. Te zahteve so opredeljene za različne materiale, ne le za VO. Če so deli VO električni prevodniki, morajo biti povezani z zaščito pred strelo na stavbi v skladu s standardom DIN EN 62305.

2.3 Drugi pomembni vidiki upravljanja v zvezi z vertikalnimi ozelenitvami

Pri odločanju, kateri drugi vidiki so še pomembni v zvezi z obravnavo VO, smo izhajali iz dejstva, da gre za nov pristop v sodobnem razvoju in upravljanju mest. Zato smo se odločiti raziskati dva glavna vidika, in sicer, kako različni deležniki vidijo in prepoznavajo to vsebino ter kakšna podpora javne uprave je že na voljo tistim, ki se zanimajo za izvedbo VO. Za obravnavo prepoznavnosti in zaznavanja VO med različnimi deležniki znotraj določene države in mesta smo v anketo vključili različna vprašanja in trditve, na katere je bilo mogoče odgovoriti z »da«, »ne« ali »delno se strinjam«, kot je predstavljeno spodaj.

- Vertikalne ozelenitve so prepoznane kot pomembna tema v družbi
- Informacije o tej temi se pogosto objavljajo v časopisnih člankih ali drugih javnih medijih
- Prodajajo se različne knjige in publikacije o tej temi
- V javnih mediji se objavljajo informacije o primerih VO
- Obstajajo pobude od zgoraj navzgor za izvedbo VO

- Obstajajo javne razprave o temah, povezanih z VO
- Obstajajo nevladne organizacije in združenja, ki podpirajo izvedbo VO
- Strokovnjaki za prostorsko/urbanistično načrtovanje, krajinski arhitekti, arhitekti, gradbeni inženirji in okoljevarstveniki VO prepoznavajo kot pomembno temo
- Osebe, vključene v raziskave in izobraževanje, VO prepoznavajo kot pomembno temo
- Mestna uprava VO prepoznavajo kot pomembno temo
- Regionalna uprava VO prepoznavajo kot pomembno temo
- Državna uprava VO prepoznavajo kot pomembno temo

Iz odgovorov na ta vprašanja lahko ugotovimo, da so deležniki v Avstriji (Dunaj) in Nemčiji (Berlin) veliko bolj seznanjeni s področjem VO in imajo več izkušenj z zelenimi stenami kot deležniki v Sloveniji (Ljubljana) in Tajvanu (Tajpej). V teh dveh mestih se redno objavljajo članki in druga medijska poročila o temah, povezanih z VO, objavljene so različne knjige in primeri VO. Poleg tega obstajajo pobude od zgoraj navzgor ali javne razprave, različne nevladne organizacije in združenja pa podpirajo izvedbo VO v Berlinu in na Dunaju, medtem ko v Ljubljani in Tajpeju te podpore ni ali pa je redka. To ustreza dejanskemu stanju zelenih fasad v teh mestih, kar kaže, da so osebne izkušnje z dejanskimi primeri v prostoru lahko posebej pomembne za te vidike razvoja in upravljanja.

Podpora javne uprave na mestni ravni				
Izjave/vprašanja	ODGOVORI DA/NE/DELNO mestnih uprav			
	Dunaj	Berlin	Ljubljana	Tajpej
Odgovornosti za izvedbo VO so jasno opredeljene	NE	NE	NE	NE
Razviti so postopki naročanja za izvedbo VO	NE	NE	NE	NE
Obstajajo programi in razpisi za izvedbo VO	DA	DELNO	NE	NE
Financiranje izvedbe VO je jasno opredeljeno in javno znano	DELNO	NE	NE	NE
Vzpostavljeno je javno-zasebno partnerstvo za izvedbo VO	–	–	–	NE
Javna uprava podpira pobude od spodaj navzgor za izvedbo VO	DA	–	NE	NE
Upravljanje VO je del rednega javnega upravljanja mest	NE	NE	NE	NE

Slika 5.5: Odgovori v anketi projekta Vertical Green 2.0 na izjave o podpori javne uprave izvedbi vertikalnih ozelenitev na mestni ravni (avtorica: Ina Šuklje Erjavec)

Odgovori na vprašanja so pokazali, da v vseh obravnavanih državah strokovnjaki, zlasti krajinski arhitekti, arhitekti in urbanisti, VO vedno bolj prepoznavajo kot pomembno temo na raziskovalnih in izobraževalnih področjih. V Nemčiji to velja tudi za okoljevarstvenike in gradbene inženirje, v Sloveniji pa za sanitarne inženirje. Predvsem je spodbudno to, da mestne uprave v vseh obravnavanih mestih VO vsaj delno prepoznavajo kot pomembno temo. Kot je bilo pričakovano, je pomen VO vsaj delno prepoznan v regionalnih in državnih upravah samo v Avstriji in Nemčiji.

Z dodatnimi vprašanji, povezanimi s podporo javne uprave (ki so za posamezna mesta predstavljena v podpoglavju 2.2 *Neobvezujoče, neformalno načrtovanje*), smo podrobneje preučevali, katere podpore vertikalnim ozelenitvam so bile v času raziskave pogosto uporabljene v teh mestih. Odgovori na vprašanja ali izjave (glejte sliko 5.5) kažejo, da je dejanska podpora mestnih uprav, tudi v Berlinu in na Dunaju, še vedno zelo šibka, v vseh mestih pa še vedno obstaja veliko neizkoriščenih priložnosti za krepitev razvoja in upravljanja na tem področju.

3 Izzivi pri načrtovanju vertikalnih ozelenitev na mestni ravni

Naslavljanje vprašanj in izzivov, povezanih z VO, na mestni ravni je zelo kompleksno. Ti elementi se kljub prepoznavnim koristim pogosto ne uporabljajo ali preizkušajo v okviru večjih prostorskih ureditev, saj veljajo za poseben tip urbanega zelenja. Kar zadeva njihovo načrtovanje in upravljanje, zahtevajo drugačen, inovativen pristop. Ker so VO navpične površine in so dejansko del stavbe ali drugih grajenih elementov, predstavlja njihova obravnava poseben izziv. Značilnosti teh elementov ne izhajajo le iz njihovih naravnih lastnosti zelenih prvin oziroma vegetacije, temveč tudi fizičnih in strukturnih značilnosti uporabljenega sistema VO na ravni posamezne stavbe. Zato se zastavlja vprašanje, ali je smiselno VO v postopku urbanističnega načrtovanja obravnavati strateško in sistemsko kot druge zelene površine ter elemente zelene infrastrukture skozi preverjanje koristi na širši mestni ravni ali pa je odločitev o izvedbi VO povezana predvsem s prepoznavanjem prednosti na ravni stavbe in se zato vežejo na posamezno gradnjo.

V tem poglavju obravnavamo nekatera vprašanja in izzive pri načrtovanju VO, ki so povezana s sistemom prostorskega načrtovanja na splošno. V prvem delu poglavja, zato VO preučujemo kot poseben tip urbane zelene površine skozi različne ravni načrtovanja, od strateškega urbanističnega načrtovanja do oblikovanja urbanih ambientov. Podpoglavji (3.2) *Vidiki, povezani z vertikalnimi ozelenitvami* in

(3.3) *Urbanistično načrtovanje in vrednotenje potencialov vertikalnih ozelenitev* sta del doktorske raziskave na Fakulteti za arhitekturo Univerze v Ljubljani (kandidatka Jana Kozamernik), ki se osredotoča na podrobnejšo opredelitev meril za ocenjevanje urbanih ambientov v smislu vpliva zelenih sten na doživljanje in urbano mikroklimo.

Med ključnimi vsebinami vključevanja VO v načrtovanje in oblikovanje mestnega okolja so vprašanja smiselnosti, podrobnosti načrtovalskih ravni in potreb po oblikovanju smernic in predpisov glede VO. Anketna raziskava pristopov in primerov načrtovanja in upravljanja je pokazala, da je na Dunaju in v Berlinu razvoj na področju izvajanja VO večji kot v Ljubljani in Tajpeju. Iz podatkov lahko sklepamo, da je to mogoče pripisati boljši zakonodajni podpori ter že vzpostavljenim predpisom in smernicam za izvedbo VO na stavbah. Ob zagotovljeni podpori na splošni ravni (zakonodaja, usmeritve ipd.) ter dostopnih informacijah o uspešno izvedenih projektih in razvitih sistemih novi projekti navadno sledijo primerom dobrih praks. Uslužbenci uprave Mestne občine Ljubljana so na poglobljenih razgovorih in delavnicah med drugim izrazili potrebo po ureditvi področja izvedbe VO in vključevanja naravnih prvin v stavbe, tudi na ravni strateškega načrtovanja. Ugotovitve raziskave kažejo, da so direktive, strategije in smernice EU pomembne za spodbujanje in podpiranje sprejetja teh ukrepov na vseh ravneh. V Avstriji, Nemčiji in Sloveniji (ne pa tudi v Tajvanu) so VO vsaj posredno (kot ukrep) vključene v cilje in vizije različnih strateških dokumentov na državni, regionalni in mestni ravni, ki se nanašajo na različne evropske strateške dokumente in direktive, kot so Strategija EU za biotsko raznovrstnost do leta 2030, Prilagoditvena strategija EU, Strategija EU za zeleno infrastrukturo in Direktiva o energetske učinkovitosti stavb.

Še eno pomembno vprašanje je, ali je načrtovanje VO na mestni ravni zares upravičeno in do katere mere se usmerja. Inventarizacija VO na urbanem območju (znotraj obvoznice) mesta Ljubljane je pokazala, da je največ VO znotraj območij, ki imajo dokaj visok delež vegetacije oziroma so na splošno že precej zelena, kot so območja prostostojećih hiš z vrtovi. Zdi se, da odločitev o izvedbi zelenih fasad na individualni ravni izhaja iz osebnih preferenc ljudi, ki iščejo čim več stika z naravo, in ne iz zaznanih problemov, ki se nanašajo na splošno kakovost njihovega okolja in življenja. Podobno spoznanje smo pridobili z obiski lokacij na Dunaju, kjer imajo v nekaterih delih mesta številne prostostoječe hiše z vrtovi tudi fasade, ozelenjene na tradicionalni način z vzpenjalkami.

V zadnjem času je opazen tudi trend ozelenjevanja fasad velikih, večnadstropnih, pogosto luksuznih poslovnih ali stanovanjskih stavb, ki so tudi predmet pogostih objav v medijih in strokovnega raziskovanja. V številnih takih primerih je odločitev

za VO opredeljena kot način spodbujanja zelenega, trajnostnega razvoja, v resnici pa gre pogosto le za prestižne investicije in pristope arhitekturnega oblikovanja z namenom izstopanja in ustvarjanje prepoznavnosti za lastnike in/ali uporabnike. Čeprav se poudarja skrb za okolje, gre pri večini bolj za obliko promocije kot dejansko trajnostno gradnjo. V nekaterih primerih je mogoče celo govoriti o lažnem zelenem oglaševanju (ang. *greenwashing*), ki se uporablja za prikrivanje resnične težave posegov. Zeleni marketing se tako uporablja za prepričevanje, da gre za okolju prijazne gradnje kljub netrajnostni izvedbi in vzdrževanju, na primer veliki porabi materiala (zaradi pogoste zamenjave rastlin), netrajnostnim materialom sistemov pritrditve ali panelov. Zato smo prepričani, da je treba odpreti in razširiti razpravo ne le o koristih in težavah VO ter pomislekih glede njihove uporabe, temveč tudi o potrebi po sistematičnem in celostnem pristopu k njihovem načrtovanju v korist mesta in njegovih prebivalcev. Razumeti je treba, da so VO poseben tip zelenih površin s številnimi pomembnimi funkcijami za urbana območja, ki izhajajo iz učinkov na naravi temelječih rešitev ter so lahko zelo dobrodošel pristop za določene situacije v mestih. Ti dejavniki so povezani z biotsko raznovrstnostjo, blaženjem podnebnih sprememb in prilagajanjem nanje ter uravnavanjem urbane mikroklimе, prav tako pa zagotavljajo druge koristi, kot je energetska učinkovitost stavbe. Zato je še zlasti pomembno, da opredelimo in upoštevamo skupno oceno vseh teh koristi ter jih ovrednotimo.

3.1 Ravni načrtovanja – od mestne ravni do ravni stavbe

VO so poseben tip navpičnih površin, ker so v tem, da so sestavljene iz živih prvin in lahko delujejo kot na naravi temelječe rešitve, podobne drugim zelenim površinam, hkrati pa predstavljajo del fasade stavbe. To pomeni, da so del oblikovanja stavbe in hkrati del zelene infrastrukture na ravni mesta, ki se celostno obravnava v strokovnih podlagah ali dokumentih, kot so zeleni sistem ali zelena infrastruktura, strategijah zelenih površin ali podobnih planskih dokumentih. Na ravni EU obstaja nekaj dokumentov, ki neposredno ali posredno podpirajo ozelenjevanje stavb. Kljub temu so VO v večini držav in mest še vedno zelo slabo prepoznane. Kot je predstavljeno v prejšnjem poglavju, bi bilo treba za spodbujanje uporabe VO ta tip zelene infrastrukture vključevati na različnih ravneh, tako regulativnih in izvedbenih dokumentov na lokalni (mestni) ravni in na ravni stavb. Praksa tudi kaže, da je za izvedbo VO v nekaterih primerih pomembna podpora od spodaj navzgor. Tako na primer v Tajvanu vertikalne ozelenitve niso prepoznane na nobeni ravni strateškega državnega, regionalnega ali mestnega načrtovanja, temveč so del rešitev in smernic, zagotovljenih na lokalni ravni.

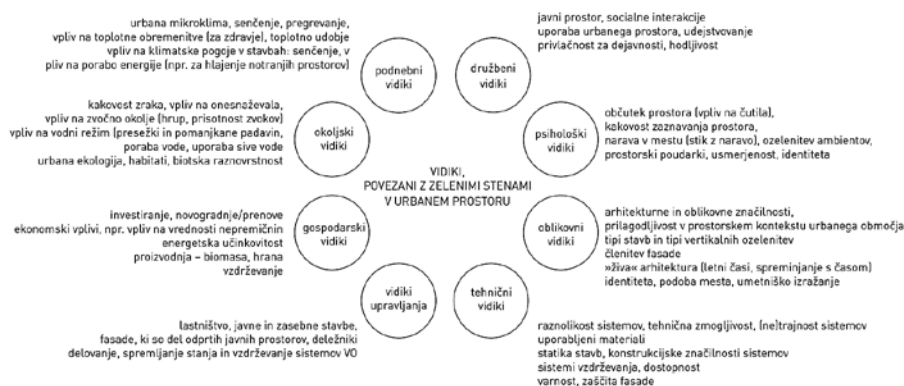
Na ravni urbanističnega načrtovanja se v zvezi z ozelenjevanjem stavb naslavljajo različne vsebine, povezane tako z obravnavo posamezne stavbe v določenem urbanem okolju – vplivno območje stavbe, morfološka struktura, lokacija stavb, okoljski problemi na območju (npr. učinki toplotnega otoka, kakovost zraka, raven hrupa, poplave, neprepustnost), raba tal, delež zelenih površin na območju, uporaba zunanjega prostora (npr. dostopnost, zasebni in javni odprti prostor, povezave med nadstropji, hodljivost).

Na ravni stavbe pa so pomembne tipologija stavbe, namembnost in starost stavbe ter prostorska in volumetrična razmerja stavbe, njenih sten in fasad – vključno s sestavo, višino, širino, usmerjenostjo, senčenjem, razmerjem med površino zasteklitve in fasade, teksturo in barvami. Pomembni so tudi dostopnost fasad z VO (možnost dostopa z notranje ali zunanje strani stavbe) in veljavni predpisi, vezani na določena urbana območja ali posamezne stavbe, kot so omejitve zaradi varstva kulturne dediščine (glejte 5. del, poglavje 4.2 *Vprašanja kulturne dediščine v zvezi z vertikalno ozelenitvijo*).

3.2 Vidiki, povezani z vertikalnimi ozelenitvami

Na splošno je vertikalne ozelenitve mogoče obravnavati z različnih vidikov. Ti so lahko klimatski, okoljski, oblikovalski, tehnični oziroma tehnološki, družbeni in psihološki vidiki ter finančni, varnostni in ekonomski, pa tudi vidiki, povezani z upravljanjem na splošno (lastniške razmere, vzdrževanje itd.). Sistemi VO so biotehnični sistemi, ki pa so tudi sestavni del ovoja stavbe. Opredeliti jih je mogoče na več načinov – kot vegetacijske, energetske ali vodne sisteme, sisteme na naravi temelječih rešitev, pa tudi fasadne, tehnološke, konstrukcijske sisteme. Vegetacija in sistem pritrditve določata videz in delovanje VO, pri tem se lahko uporablja različen vegetacijski in konstrukcijski material, rešitve pa se prilagajajo oblikovalskim željam in potrebam posameznih lokacij.

Z vidika mikroklimе je pomemben vidik VO v območju zmernotoplega podnebja predvsem ta, da v poletnem času delujejo kot element senčenja. Rastline imajo na splošno ključno vlogo pri vzpostavitvi mikroklimatskih razmer v mestnih območjih ter pozitivno vplivajo na okoljske značilnosti, tako na vodni režim, akustične značilnosti in zaznavanje hrupa, prevetrenost, absorpcijo onesnaževal in biotsko raznovrstnost ipd., zato VO veljajo tudi za večnamenske sisteme. Z zelenimi stenami so povezani tudi različni družbeni in psihološki vidiki, kot sta doživljanje urbanega prostora in vpliv na njegovo uporabo. Oblikovalska funkcija VO je najbolj izražena, kadar se VO uporablja za umetniško izražanje ali kot identitetni element



Slika 5.6: Medsebojno povezani vidiki, pomembni pri obravnavi vertikalnih ozelenitev (vir: Kozamernik, 2020)

stavbe. Tehnični in arhitekturni vidiki poudarjajo potencial trajnostnih rešitev, povezanih s kompleksnostjo sistemov, z uporabo materialov, tehničnimi lastnostmi, varnostjo in celovito prenovo stavbe. Vertikalne ozelenitve je mogoče uporabiti za proizvodnjo hrane ali biomase. Upravljanje in vzdrževanje VG sta ključnega pomena, saj je polno učinkovitost sistema mogoče doseči le s kakovostno zasnovo in vzdrževanjem VO. Celoten spekter različnih vidikov, povezanih z zelenimi stenami v urbanem prostoru, kaže kompleksnost te teme v urbanističnem oblikovanju.

3.3 Urbanistično načrtovanje in vplivi VO na mestni prostor

Ocenjevanje potencialnega vpliva VO na mestni prostor je kompleksno, saj je pri vrednotenjih vplivov treba upoštevati različne vidike in posebne urbane razmere. Vrednotenje vertikalnih ozelenitev, ki se osredotoča na njihov vpliv na okoliški prostor, je povezano z različnimi temami urbanističnega načrtovanja. Področja, kot so družbeno okolje, urbana struktura, urbani sistemi in okoljske razmere, so ključna za analize na mestni ravni. Nekatere od teh tem so bile obravnavane v okviru projekta Vertical Green 2.0, skozi problematiko pomanjkanja zelene infrastrukture v mestih in v povezavi z različnimi tipi grajenega tkiva. Posameznim področjem (družbeno okolje, urbana struktura, urbani sistemi, okoljske razmere) smo opredelili podrobnejše teme, ki se obravnavajo na različnih ravneh in jih je mogoče preoblikovati v seznam meril za vrednotenje urbanega prostora (z vidika VO):

Družbeno okolje

Prebivalstvo, gostota prebivalstva v posameznih delih mest, pa tudi lastništvo, sta temi, ki ju lahko vključimo v analizo potencialnih vplivov elementov zelene infrastrukture (tudi vertikalnih ozelenitev). Gostota prebivalstva se nanaša na prostorsko porazdelitev prebivalcev. Ključno je, kje v mestu se potencialno čutijo koristi VO v smislu izboljšanja kakovosti življenja in dela. Poleg stanovalcev je treba upoštevati tudi delovno aktivno prebivalstvo, uporabnike izobraževalnih ustanov, območja za začasno nastanitev (domovi za ostarele, bolnišnice itd.) ipd. Z lastništvom povezani izzivi so predvsem upravljanje in financiranje, pa tudi odgovornost vpletenih deležnikov ter vprašanja dostopnosti in uporabe stavb in njihove okolice. Razmerja med zasebnim in javnim lahko močno vplivajo na odločitve o načrtovanju, izvedbi in upravljanju.

Urbana struktura

Obravnavane teme na področju urbane strukture, so: (1) morfologija, (2) ovoj stavb in (3) kakovost stavb. V zvezi z morfologijo je potrebna obravnavazazidalnih vzorcev, velikosti stavb in odprtega prostora. Obravnavajo se zazidalni vzorci/ tipi stavb, njihova oblika, stavbni volumen, odprte ali zaprte oblike in druge značilnosti. Merilo stavbe in dimenzije površin fasad so pomemben kriterij v smislu njihove ustreznosti za VO (velikost površin, fizična povezava, dostopnost v različnih nadstropjih itd.). Širine ulic in prostori med stavbami določajo morfološke in okoljske pogoje (toplotne razmere, veter itd.). Pomembna sta usmerjenost fasad stavbe (glede na smer neba), in senčenje (npr. visoki okoliški objekti). Kar zadeva tip fasade, je mogoče oceniti potencial manjših/večjih fasadnih površin in uporabo različnih tipov zelenih sten glede na varnostne predpise. Pomemben dejavnik je prostorska izpostavljenost objektov (vizualna izpostavljenost). V zvezi s kakovostjo stavb je treba pridobiti podrobne informacije o posamezni stavbi, zlasti v zvezi z gradbenimi/konstrukcijskimi značilnostmi in porabo energije. Vključevanje VO v prenovo določenih tipov stavb (npr. ob širitvi gradbenih konstrukcij v odmiku od fasadnega ovoja).

Urbani sistemi

Teme, ki se obravnavajo v okviru urbanih sistemov, so povezane s programi oziroma funkcijskim značajem območij, javno infrastrukturo in opredeljenim zelenim sistemom in tudi kulturno dediščino. Glede na prevladujoče funkcije območij se preverjajo funkcionalna območja, uporaba prostora, dejavnosti, gibanje pešcev itd. V obravnavi infrastrukture je poudarek predvsem na prometnem in drugih sistemih gospodarske javne infrastrukture, na primer podzemna infrastruktura ob

fasadah. Zeleni sistem je koncept načrtovanja urbanih zelenih površin in odprtih prostorov, ki zagotavljajo raznolike funkcije – socialne, ekološke, morfološke, ekonomske, in te prostore medsebojno povezuje v omrežje oziroma sistem, vključuje pa tudi sistem zelene infrastrukture. Zasnova zelenega sistema opredeljuje sistem povezovanja različnih tipov zelenih površin in je podlaga za prostorske akte tudi v smislu določanja območij, kjer je potreba po zelenih površinah. Taka območja se navadno določijo kot območja posebnega režima zelenega sistema (z usmeritvami). Še ena tema, ki je povezana z urbanističnim načrtovanjem in se povezuje s stavbnim ovojem, so zahteve glede kulturne dediščine, saj v določeni meri vplivajo na možnosti za izvedbo VO.

Okoljski pogoji

Spekter okoljskih vprašanj v zvezi z vrednotenjem potenciala za vertikalne ozele nitve je zelo širok. Obravnava se stanje grajenega okolja v smislu obremenjenosti okolja in s tem povezanih problematik. Ena od tematik se osredotoča na talne površine – na prepustnost (neprepustne/prepustne površine), zelene površine, pokritost z drevesnimi krošnjami, pa tudi na degradirana območja ali sive cone. Prepustnost površin močno vpliva na okoljske razmere. VO se v zvezi s to tematiko obravnavajo kot ukrep za izboljšanje zmogljivosti za zadrževanje padavin in za uporabo deževnice za zalivanje – tudi na območjih z neprepustnimi tlemi. Pomemben dejavnik je prisotnost (in tip) zelenih površin v različnih urbanih območjih. V okviru zelenega sistema mesta se opredelijo območja mesta, na katerih je večja potreba po zelenih površinah in zelenih prvinah. Pokritost z drevesnimi krošnjami je pomemben parameter, saj z zagotavljanjem sence in drugimi funkcijami dreves vplivamo na vse okoljske vidike. Drevesa so tudi sicer najučinkovitejša zelena prvina za uravnavanje mikroklimatskih razmer v mestih. Sive cone ali degradirana območja lahko obravnavamo kot velik potencial, saj lahko njihovo načrtovanje vključuje večji delež sonaravnih rešitev.

Za izboljšanje okoljskih problematik, kot so učinki toplotnega otoka, onesnaženost zraka, obremenitev s hrupom in vodne razmere (presežki ali pomanjkanje vode), se preverijo potenciali, na primer za večji delež ozelenitve na območjih z visokimi toplotnimi obremenitvami v poletnem času. Izvedba VO lahko vpliva tudi na območjih s povišano koncentracijo onesnaženosti zraka (vrednosti majhnih delcev), povišano ravno hrupa (kjer je mogoče preučiti možnost uporabe protihrupnih barrier, kot so vertikalne ozelenitve) in porabo meteorne vode ali podtalnice (npr. v območjih, ki imajo probleme s presežki vode, potrebna je tudi pozornost glede potreb po namakanju).

3.4 Vključevanje tematik vertikalnega ozelenjevanja v urbanistično načrtovanje

Evropska komisija (2020; Strategija EU za biotsko raznovrstnost do leta 2030) je vsa evropska mesta, ki imajo vsaj 20.000 prebivalcev, pozvala, naj do konca leta 2021 pripravijo ambiciozne načrte ozelenitve mestnih območij, z namenom zagotavljanja narave v mestih za kakovostno bivanje. Zasnove mest bi tako morale prispevati k izboljšanju povezav med zelenimi površinami, odpravljanju uporabe pesticidov, omejevanju prekomerne košnje mestnih zelenih površin in omejevanju drugih slabih praks ter spodbuditi politike za izvedbo zelenih sistemov, vključno z določitvijo finančnih orodij. Med predlaganimi ukrepi so tudi zelene površine, vezane na stavbe, zelene strehe in stene, ki jih je treba upoštevati v prihodnjem urbanem razvoju.

Na podlagi analize mest v projektu Vertical Green 2.0 lahko ugotovimo, da so VO že prepoznane kot zelena mestna prvina. Čeprav še niso določene kot klasične zelene površine, se obravnavajo kot ukrep za doseganje vizij in ciljev strategij urbanega razvoja mest. Izvedba vertikalnih ozelenitev je še vedno odvisna od posameznih pobud, tako da njihov polni potencial za doseganje sistemsko določenih, celovitih koristi za mestni prostor ostaja neizkoriščen. Razlog za to je vsaj delno v obstoječih pristopih prostorskega načrtovanja, ki temeljijo na rabi tal. Ta informacija je pogosto nezadovoljiva z vidika načrtovanja zelenih površin na splošno, še bolj pa za načrtovanje vertikalnih ozelenitev, ki so navpične prostorske prvine. Pri načrtovanju zelenih površin je treba upoštevati, da številni tipi obsežnih mestnih zelenih površin, ki so zelo pomembni za trajnostni urbani razvoj in odpornost mest, niso del namenske rabe tal »zelenih površin«, temveč del drugih rab, stanovanjskih, kmetijskih, gozdnih ali vodnih površin. Zato je celostna strategija zelenih površin s smernicami za vse tipe zelenih površin nujen del vsakega urbanističnega načrta.

Načrtovanje zelene infrastrukture in drugi podobni sodobni pristopi strateškega načrtovanja urbanih zelenih površin predstavljajo usmeritev k bolj trajnostnemu urbanističnemu načrtovanju, ki upošteva tudi vidike souporabe, večnamenskosti in soupravljanja zunanjega prostora. Načrtovanje vertikalnih ozelenitev kot posebne tipa zelene infrastrukture predstavlja poseben izziv. Vertikalne ozelenitve zaradi navpične narave ne morejo biti opredeljene kot raba tal in navadno niso prikazane na prostorskih načrtih. Poleg tega imajo različni tipi sistemov vertikalnih ozelenitev različne značilnosti. Nekateri sistemi izkoriščajo predvsem naravne značilnosti rastlin (npr. vzpenjanje) in so povezani z raščenim terenom, zato jih je v osnovi mogoče razumeti kot naravno vzpostavljene ekosisteme, po drugi strani pa je v zadnjem času veliko večji poudarek na umetno izdelanih vertikalnih (eko)sistemih. Pomembno je, da se ozelenitev fasad stavb in drugih vertikalnih površin obravnava z različnih vidikov in na različnih načrtovalskih ravneh.

Na tem področju že obstaja nekaj zanimivih primerov:

Ring idr. (2021) za primer Dunaja predlagajo novo metodo, imenovano faktor odprtega prostora za Dunaj (ang. *Open Space Factor Vienna*), katere namen je določiti obstoječe in izboljšati mikroklimatske razmere v luči prilagajanja na podnebne spremembe. Novost te metode je, da upošteva različne parametre, kot so ozelenitev fasade (FG), površina fasade (FA), površina strehe (RA), talna ozelenitev (GG), velikost zemljišča za gradnjo (PS), zunanje površine (OA) in okoljski odtis stavbe (FP).

Prav tako izpostavljamo instrument načrtovanja, ki ga je razvilo mesto Berlin: faktor območja biotopa (ang. *Biotope Area Factor – BAF*). Ta faktor upošteva vsa potencialna zelena območja, vključuje tudi vertikalne ozelenitve ter pomaga standardizirati in konkretizirati cilje doseganja okoljske kakovosti. BAF je ukrep krajinskega programa Berlina, ki določa osnovne cilje in ukrepe za spodbujanje kakovostnega urbanega razvoja v zvezi z ekosistemi, varstvom biotopov, podobo prostora in rekreacijo. Zajema urbane oblike rabe – stanovanjske, poslovne in infrastrukturne – ter določa minimalne ekološke standarde za novogradnje in spremembe obstoječih gradenj. BAF je v okviru krajinskega načrta uveden kot odlok za določene dele mesta s podobno morfološko strukturo. Pri tem je treba upoštevati, da morajo biti ti faktorji skladno s 50. členom zakona NatSchG Bln, ki določa, da morajo biti izdatki lastnikov nepremičnin za ukrepe »v razumnih mejah«, zato je treba izvajanje ukrepov vedno načrtovati v sodelovanju z lastniki nepremičnin oziroma investitorji. Zavedanje o koristih VO se na splošno poveča s spodbujanjem dobrih praks, še vedno pa obstaja veliko bojazni in predsodkov o teh tipih fasad (glejte 2. del). Sistemi VO v evropskih mestih zmernotoplega podnebja niso zelo razširjeni, čeprav so v nekaterih državah že na voljo usmeritve za njihovo izvedbo. Poleg tega obstaja več gradbenih predpisov s področja ozelenitve ovoja stavb (za VO in zelene strehe).

Krajinski načrti (Landschaftspläne) so pripravljani na občinski ravni ter opredeljujejo prostorske značilnosti in ukrepe na podlagi ciljev in načel varstva narave in ohranjanja krajine (člena 1 in 2 zakona BNatSchG).

Krajinski načrt običajno vključuje:

- namene in funkcije odprtih prostorov,
- obseg poselitvenih območij,
- razvojne cilje za krajino in naravo,
- prednostna območja za ohranjanje narave.

Krajinski načrti se oblikujejo za 10- do 15-letno obdobje in se posodablajo glede na trenutno stanje. Leta 2017 so krajinske načrte, ki so vključevali faktor BAF, pripravili v naslednjih okrožjih: Char-lottenburg-Wilmersdorf, Friedrichshain-Kreuzberg, Lichtenberg, Marzahn-Hellersdorf, Mitte, Neukölln, Pankow, Reinickendorf, Spandau, Steglitz-Zehlendorf, Tempelhof-Schöneberg in Treptow-Köpenick.

3.4.1 Vertikalne ozelenitve kot element urbane zelene infrastrukture

Zaradi posledic podnebnih sprememb postajata zadrževanje meteorne vode in zmanjševanje učinka toplotnega otoka v mestih ključna izziva pri pristopih k prihodnjemu urbanemu razvoju, katerega cilji so povezani z zagotavljanjem kakovosti bivanja ter trajnostnih in odpornih mest. S tem je povezana potreba po sistematičnem ozelenjevanju, zlasti gosto pozidanih urbanih območij. Vse bolj se prepoznava tudi druga pomembna funkcija urbanih zelenih površin, to je njihova vrednost za javno zdravje. Eden od sodobnih načinov za spopadanje s temi izzivi je pristop zelene infrastrukture, ki izpostavlja nekaj zelo pomembnih vidikov načrtovanja zelenih površin, med drugim tudi z obravnavanjem celovitosti koristi VO in zelenih streh (ekosistemske storitve) ter na naravi temelječih rešitev. Koncept zelene infrastrukture prav tako odpira razpravo o sodelovanju različnih strok, kar je pomemben korak k celovitosti in ustvarjanju medsektorskih sinergij. Koncept zelene infrastrukture izvira iz krajinske ekologije in ga različne stroke še vedno razumejo precej različno. Z razvojem (da bi ga bilo mogoče učinkovito uporabiti v praksi) se je prilagodil izzivom prostorskega načrtovanja ter prevzel več že uveljavljenih strateških pristopov k načrtovanju zelenih površin v mestih in naseljih (strategija zelenih površin, mestni zeleni sistem). V nekaterih državah zelena infrastruktura (že) predstavlja nadomestilo za te nekoč že uporabljene koncepte. V teh primerih se zelena infrastruktura uporablja kot dodatna raven ukrepanja oziroma je sprejeta na različnih ravneh in območjih (urbanem, podeželskem itd.).

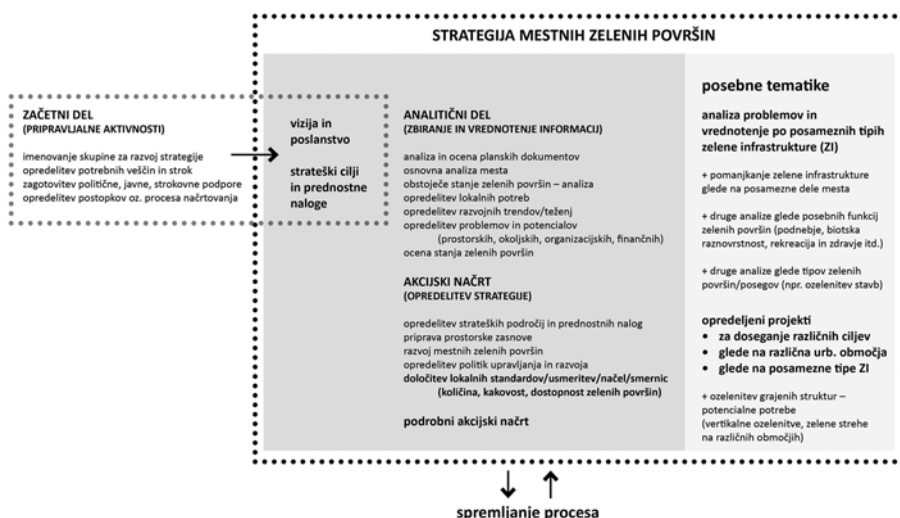
Zelena infrastruktura in njeno načrtovanje postajata vse bolj pomembni kot del urbanistične zasnove vsakega mesta. Usmerjeni sta v različne ukrepe s področja urbanističnega in krajinskega načrtovanja, vključujeta zagotavljanje večje prepustnosti tal, prevetrenosti mesta, povečanje zelenih površin in ukrepe, povezane z gradnjo, kot so izbira gradbenih materialov, prednostno ozelenjevanje streh in fasad, elementi senčenja itd. Pomemben parameter ocenjevanja mest bo v prihodnosti postala evidenca toplotnih otokov, s katero se lahko spremljajo območja pregrevanja v mestu. To bo omogočilo izvajanje usmerjenih ukrepov, tesno povezanih z načrtovanjem zelene infrastrukture na mestni ravni. Zaradi vegetacijskih prvin so VO priznane kot element zelene infrastrukture, kljub temu pa se pojavljajo določena vprašanja, povezana z njihovim dvojnim značajem. Ključna vprašanja so, kako obravnavati njihovo načrtovanje, saj so tudi del stavbe. Vprašanje je tudi, kako VO ustrezno vključiti v splošni pristop načrtovanja zelene infrastrukture. Analiza planskih dokumentov v državah, vključenih v projekt VG 2.0, je pokazala, da se ti novi koncepti v uradnih dokumentih še ne uporabljajo pogosto. Na naravi temelječe rešitve so bile ob pripravi te publikacije v dokumentu na strateški ravni omenjene le v Nemčiji.

3.4.2 Načrtovanje zelene infrastrukture na strateški ravni

Sodobni pristopi urbanističnega načrtovanja morajo v strateških dokumentih vključevati zeleno infrastrukturo kot samostojno tematiko, lahko pa tudi kot samostojno strokovno podlago, ki se vključi v strateški dokument, na primer kot strategija zelenih površin, strategija odprtih prostorov mesta ali zeleni sistem, oziroma kot celovito strategijo zelene infrastrukture, ki vključuje vse funkcije in vidike razvoja mestnih zelenih površin.

Če je namesto dokumentov, navedenih zgoraj, na mestni (ali drugi) ravni uporabljena zasnova zelene infrastrukture, mora njeno načrtovanje upoštevati enaka načela kot tista, oblikovana za strategije mestnih zelenih površin (glejte primer projekta GreenKeys; Smaniotto Costa idr., 2008), in vključevati vsaj štiri glavne dele (glejte sliko 5.7):

1. vizijo in poslanstvo strategije s strateškimi cilji in prednostnimi nalogami (prilagojenimi glede na situacijo posameznega mesta),
2. analitični del,
3. zasnovo zelenih površin,
4. strateški akcijski načrt.



Slika 5.7: Koncept strategije mestnih zelenih površin (levi del prirejen po Smaniotto Costa idr., 2008) lahko poudari specifične elemente zelenih površin in tipe zelene infrastrukture (desna stran sheme) (avtorica: Jana Kozamernik)

Prav tako je pomembno, da so analize in vrednotenje ter smernice za ukrepe prilagojene različnim tipom zelenih površin in elementom zelene infrastrukture, kot je opredeljeno znotraj posameznih tem.

3.5 Priporočila o sistemih VO na ravni strateškega načrtovanja

Sisteme vertikalnih ozelenitev (VO) je treba opredeliti kot zeleno infrastrukturo, ki je del stavb. Glede na manjši obseg vertikalnih ozelenitev so te pomembne predvsem na mikro urbani ravni in se pri opredelitvi smernic za določena območja štejejo za ukrep majhnega ali srednjega obsega. Potenciale in potrebe za umeščanje VO na posameznih območjih je mogoče analizirati z različnimi pristopi. Na strateški ravni je mogoče oblikovati priporočila glede ozelenitev stavb za določena območja v mestu ali za določene tipe stavb, ki so lahko opredeljena kot prednostna. Pri tem so za doseganje trajnostnega razvoja in kakovosti urbanih območij pomembne tako zelene strehe kot zelene fasade, ki so opredeljene kot na naravi temelječe rešitve.

Vzpostavitev spremljanja stanja zelenih površin in popisov VO ter zelenih streh naj bo stalen in aktiven proces, določen v okviru strateškega akcijskega načrta mesta, saj ima celostni pogled razširjenosti, razvoja in stanja različnih tipov zelene infrastrukture pomembno vlogo kot informacijska podlaga za načrtovanje zelenega sistema v prihodnje.

Smernice za posebne tipe zelenih površin

Smernice in podrobna priporočila za načrtovanje različnih tipov zelenih površin so namenjena predvsem za oblikovanje določb na ravni občinskih prostorskih planov, načrtov in podrobnih prostorskih načrtov. Smernice so neposredno povezane s cilji na strateški ravni (povzemajo npr. tudi cilje zelenega sistema/strategije urbanih zelenih površin) ter se navezujejo na lokalni družbeno-gospodarski in prostorski okvir. Splošne smernice za doseganje ciljev strategije ob upoštevanju različnih vidikov zelene infrastrukture so povezanost zelenih površin, količina in ustreznost vegetacije, zagotavljanje privlačnih in dostopnih zelenih površin, njihova kakovost, biotska raznovrstnost, pa tudi zmožnost zadrževanja vode in druge značilnosti.

Smernice in podrobnejše usmeritve za zelene površine – vključno z VO in zelenimi strehami, povezanimi s stavbami, naj vključujejo:

- skupni delež vseh zelenih površin glede na skupno površino gradnje, pri čemer je opredeljen minimalni delež glede na funkcije in uporabo območja, tipe stavb, urbanistično oblikovanje, sistem ozelenitve, lokalni okvir, opredelitev funkcij, vsebino, kakovost ureditev, pričakovane prostorske značilnosti in kakovost oblikovanja;
- razmerje med odprtimi bivalnimi površinami in celotno površino zemljišča, namenjenega za gradnjo (običajno za stanovanjska območja);
- določi se razmerje med zelenimi površinami na raščenem terenu (prepustnost) in skupno površino gradbenega zemljišča, ki je izraženo kot faktor zelenih površin ali minimalni delež raščenega terena, kar zagotavlja prost odtok meteorne vode (običajno za območja nestanovanjskih stavb);
- pokritost z drevesnimi krošnjami;
- smernice za zagotavljanje dostopnosti zelenih površin, na primer dostopnost od bivališč do najbližjih zelenih površin;
- smernice za zagotavljanje kakovosti krajinskih ureditev in vzdrževanja posameznih tipov zelenih površin;
- raven opremljenosti – določitev območij ali ureditev z visoko, srednjo, nizko in minimalno opremljenostjo glede na funkcijo in uporabo teh območij;
- raven vzdrževanja – določitev območij od tistih z zelo intenzivnim vzdrževanjem do tistih z minimalnim vzdrževanjem, glede na njihovo funkcijo in uporabo.

Eden od osnovnih parametrov v prostorskih planih je delež zelenih površin na gradbeni parceli glede na rabo tal na območju. Za določitev stopnje zelenih površin na urbanih območjih se lahko uporabljajo različni faktorji. Na podlagi različnih pristopov je mogoče v strategije in politike vključiti faktor površin biotopa ali faktor zelenih površin, ki opredeljuje minimalne deleže in njihovo vključitev v podrobnejše planske dokumente. Poleg osnovnega parametra, ki je delež zelenih površin, se lahko uvaja tudi faktor, s katerim je mogoče meriti določene lastnosti zelenih površin. Ta faktor se lahko uporablja za določanje želenega prihodnjega stanja ob prenovi gosto pozidanih območij. Opisani faktorji so navadno izračuni glede na mikroklimo, biotsko raznovrstnost in parametre dobrega počutja (ang. *well-being*), vključno z opredelitvijo dostopnosti in različnih tipov urbanih odprtih prostorov. Lahko se uporabljajo kot orodje za vrednotenje ob upoštevanju različnih tipov ozelenitev na gradbeni parceli (zelene površine na raščenem terenu, površina strehe, fasadna ploskev). Podobni faktorji se že uporabljajo na Dunaju (faktor zelenih in odprtih površin, angl. *Green and open space factor Vienna*) in v Berlinu (faktor zelenih območij, faktor zelenih površin in faktor površine biotopa) na ravni gradbenih parcel.

Priporočila glede ozelenitve streh in vertikalnih ploskev

Zelene strehe in vertikalne ozelenitve so vrsta vegetacijskega elementa, ki je del stavbe ali druge grajene strukture. Zelene strehe so ekstenzivne ali intenzivne, intenzivne pa se lahko uporabljajo kot zelene javne odprte površine ali bivalne površine. Izvedba zelene strehe se v usmeritvah lahko priporoča na vseh stavbah v mestih, ki imajo ravno streho. Smernice za izvedbo in raven vzdrževanja vertikalnih ozelenitev so določene v okviru načrtovanja stavbe. Načrtovanje stavb z zelenimi strehami in vertikalnimi ozelenitvami se prednostno spodbuja na vseh območjih s poudarjenim zelenim režimom, kjer se v skladu s prostorskim planom namenja pozornost načrtovanju večjega deleža zelene infrastrukture.

Gradbena dovoljenja za izvedbo vertikalnih ozelenitev se razlikujejo glede na državo in urbano območje, pomembni so tudi lastništvo in tip stavbe ter njena javna dostopnost. V tujini je običajno, da se za večje vertikalne ozelenjene površine v okviru mestnega oddelka za prostorsko načrtovanje izda potrdilo o vplivu na lokalno okolje, za pridobitev katerega je treba predložiti celotno izvedbeno dokumentacijo o zeleni fasadi. Za ozelenitev fasade na stavbi v zasebni lasti je običajno, da se vsi lastniki in sosedje stavbe seznani s posegom in podpišejo pisno soglasje, prav tako je treba izdelati oceno požarne varnosti. Za izvedbo zelene fasade na stavbi ob javnem objektu ali na javni stavbi je določen poseben administrativni postopek. Če je predvidena postavitve konstrukcije, ki jo je treba pritrditi na fasado ali v tla, se zahteva predložitev gradbenega dovoljenja za objekt, upoštevata se statika stavbe in konstrukcije fasade, hkrati se preverja tudi zaščitenost stavb s predpisi varstva kulturne dediščine. Če fasada meji na javno površino, je treba predložiti določene dokumente, kot so soglasje solastnikov za postavitve in dokumenti pristojnih organov, tehnični načrti (konstrukcije, zasaditve, vzpenjanje rastlin), ocena statike, dokumenti o protipožarni zaščiti in zaščiti javnih območij (po potrebi) ter dodatne informacije o prometni varnosti (v bližini pločnikov, cest) in umestitvi predlagane rešitve glede na podzemne komunalne vode. Če se poseg izvaja na stavbi v javni rabi, se informacije o izvedbi, konstrukciji, financiranju, odgovornostih, deležnikih, rokih itd. teh gradenj po navadi tudi javno objavijo.

4 Rezultati projekta Vertical Green 2.0 za podporo pri načrtovanju in upravljanju vertikalnih ozelenitev

Načrtovalski pristopi, s katerimi usmerjamo razvoj zelenih površin v mestih, njihova omrežja in medsebojno povezanost, so hkrati pristopi, s katerimi vključujemo vertikalne ozelenitve in zelene strehe v prostorsko načrtovanje na ravni mesta. Primera takih pristopov sta zelena infrastruktura in zeleni sistem mesta. Poleg tega je vertikalne ozelenitve treba vključiti tudi v načrtovanje objektov. Zato je smiselno, da za obravnavo tako specifične teme, kot so vertikalne ozelenitve, uporabimo različne pristope, ki jih v skladu z vizijo in cilji ustrezno povežemo in kombiniramo. S kombinacijo različnih pristopov je mogoče zasnovati posebne ukrepe, ki jih vključimo v akcijski načrt zelenega sistema mesta kot predlagane aktivnosti ali projekte (glejte poglavje 3 *Izzivi pri načrtovanju vertikalnih ozelenitev na mestni ravni*).

Različni pristopi in tematske analize, ki smo jih razvili v okviru projekta Vertical Green 2.0, so predstavljene v naslednjih podpoglavjih:

- urbana morfologija mest Berlin, Dunaj in v Ljubljana – katalog urbane tipologije;
- vprašanje vertikalne ozelenitve na objektih kulturne dediščine – varstvo spomeniško zaščitene objektov kot omejevalni dejavnik za ozelenitve fasad – primer analize z geografskimi informacijskimi sistemi (GIS) za Berlin;
- tipologija urbanega grajenega tkiva na podlagi Urbanega atlasa – analiza urbane strukture za Berlin, Dunaj in Ljubljano na GIS;
- geoinformacijska podpora za določitev primanjkljaja zelene infrastrukture v urbanih območjih – GIS analiza za Berlin, Dunaj in Ljubljano.

4.1 Urbana morfologija mest Berlin, Dunaj in Ljubljana – katalog urbane tipologije

Mesto je kompleksen družbeni in prostorski pojav. Je rezultat zgodovinskega razvoja, njegovo tkivo pa je kombinacija stavb, grajenih struktur in odprtih prostorov. Katalogi urbane tipologije so namenjeni pregledu grajenega tkiva obravnavanih mest in razumevanju njihove strukture, ki jo je mogoče analizirati z različnih vidikov. Kataloge smo izdelali na podlagi pregleda dokumentov o urbanem razvoju, analize prostorskih značilnosti mest in morfološke zgradbe, opisa različnih območij ter okoljskih in naravnih značilnosti Berlina, Dunaja in Ljubljane.

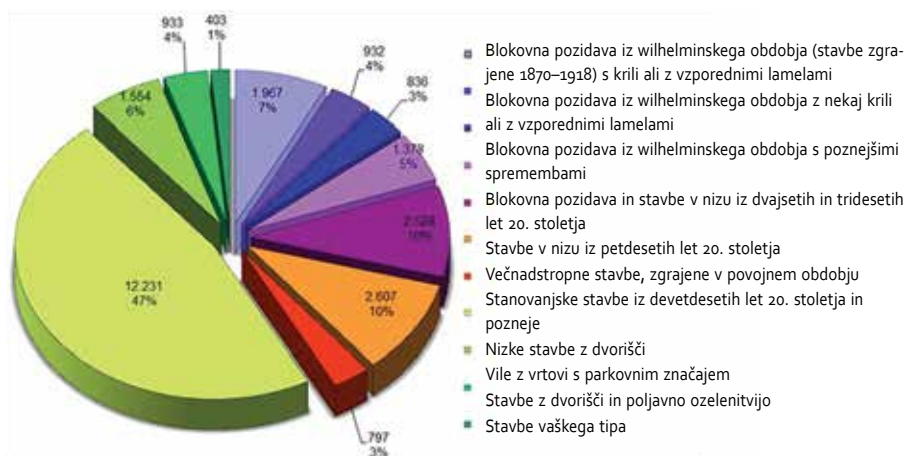
V kombinaciji z drugimi analizami, pri katerih se uporabljajo prostorski podatki, je mogoče določena območja v mestih ovrednotiti glede na morfološko strukturo in obravnavati možnosti uporabe vertikalnih ozelenitev kot eno od na naravi temelječih rešitev. Pri raziskavah, ki zajemajo mesta kot celoto, gre za širše prostorsko merilo, zato je vrednotenje rezultatov mogoče na splošni ravni. Na tej ravni lahko obravnavamo večino okoljskih in podnebnih vidikov ter urbano morfologijo z upoštevanjem gostote prebivalstva in urbanih sistemov. Druge vidike podrobneje analiziramo na mikro urbani ravni. Analiza bivalnih razmer v povezavi s stanjem in načrtovanjem zelenih površin je pomembna zlasti na gosto poseljenih urbanih območjih.

Namen analize je bil pripraviti pregled morfoloških tipov, predvsem grajene urbane strukture, z upoštevanjem značilnosti stavb, starosti, volumnov, števila stanovanjskih enot, oblike in gradbenih materialov, tlorisne členitve, odnosa med pozidanimi in odprtimi površinami, zamejenosti pozidanega območja, položaja stavb glede na ulično mrežo, razporeditve stavb itd. Morfološka struktura mest je precej raznovrstna, tipizacija (postopki razdeljevanja v homogene morfološke tipe) in tipologije (rezultati razdeljevanja) pa se med mesti in različnimi državami razlikujejo.

Berlin

Berlin je razdeljen na 52 tipov urbanih območij, ki so opredeljeni glede na njihovo značilno rabo, zgodovinski razvoj in strukturo – značilnosti stavb, razmerje stavb in odprtih prostorov itd. Na karti morfološke strukture v okviru berlinskega okoljskega atlasa (Umweltatlas, 2021) so ti tipi območij razvrščeni v 16 splošnih tipov grajene strukture. Določenih je 11 tipov s pretežno stanovanjsko rabo, ki so razvrščeni na podlagi strukturnega razmerja med stavbami in odprtimi prostori ter zgodovinskega obdobja gradnje. Tipi s pretežno stanovanjsko rabo zavzemajo približno polovico grajenih območij v Berlinu. Kategorija *nizke stavbe z dvorišči* zavzema 46 %, kar je daleč največji delež stanovanjskih območij, sledijo pa ji *večnadstropne stavbe iz povojne obdobja* z 10 %. Najmanjši delež predstavljajo območja *stavbe vaškega tipa*, in sicer 2 % (glejte sliko 5.8).

V kontekstu obravnave vertikalnih ozelenitev so še zlasti pomembna območja z gosto stanovanjsko gradnjo, kot so območja *stavb z zaprtimi dvorišči*, in območja *blokovne gradnje z zaprtimi dvorišči (zaprti kareji)*. Zanje je značilna strnjena gradnja z več dvorišči, navadno obdanimi s stavbami. Ta območja so pogosto popolnoma pozidani in tlakovani prostori brez naravnih prvin. *Gosto grajeni stavbni bloki z zaprtimi dvorišči* so najbolj gosto naseljeni tip urbane gradnje, predvsem je to *blokovna pozidava iz wilhelmskega obdobja (stavbe, zgrajene 1870–1918)*



Slika 5.8: 11 morfoloških tipov mesta Berlin s pretežno stanovanjsko rabo zavzema približno polovico grajenih območij (vir: Umweltatlas, 2015)).

s krili ali z vzporednimi lamelami. Ker so nekatera območja te gradnje pomembna z vidika varstva kulturne dediščine, se izvajanje različnih posegov, tudi vertikalnih ozelenitev, obravnava za vsako gradnjo posebej. Načrtovanje večjega deleža zelene infrastrukture je prav tako ključno za izboljšanje stanja okolja v tipu *večnadstropne stavbe, zgrajene v povojnem obdobju*, katere dvorišča in odprte površine se po navadi uporabljajo kot parkirišča, ter na območjih sodobnega zgoščevanja pozidave, kjer je zaradi pritiskov gradnje stavb prišlo do krčenja zelenih površin. V smislu potreb po ozelenjevanju so pomembna tudi nestanovanjska območja z intenzivno uporabo, kjer sta gostota prebivalcev in neprepustnost tal po navadi visoki. Mednje spadajo predvsem poslovna območja, območja s storitveno dejavnostjo ter industrijska in obrtna območja.

Dunaj

Tipologija gradnje na Dunaju opredeljuje 31 tipov stavb. Stavbe so razvrščene v tipe glede na značilnosti gradnje (npr. dvorci, hiše z osrednjim dvoriščem), dejavnost (npr. bolnišnice, hoteli, nakupovalna središča) in značilnosti njihovih odprtih prostorov (odmiki med stavbami, vrtovi itd.). Uradna tipologija se tako ne osredotoča le na zgodovinska obdobja gradnje. Leta 2016 je dunajski oddelek za urbanistični razvoj in urbanistično načrtovanje (MA 18) objavil tipe stanovanjskih območij na Dunaju, katerih namen je bil primerjati različna stanovanjska okolja v mestu. Tipologija je bila razvita kot nadgradnja t. i. tipov urbanih območij, izdelanih leta 2010, njen cilj pa je bil združiti območja, podobna po gradnji in družbeni

strukturi prebivalcev. Tipologija obravnava zlasti gostoto stavb in gostoto prebivalstva v stanovanjskih objektih ter je specifična za Dunaj. Cilj tipologije je bil tudi jasneje prikazati prostorsko širitev mesta, zlasti v fazi rasti po letu 2001. Največji odstotek prebivalstva na Dunaju živi na območjih *tipa 3* z visoko gostoto stavb in nadpovprečno gostoto prebivalstva (20,5 %), *tipa 10 – stavbe mešane starosti*, v katerem prevladujejo stavbe iz obdobja od leta 1961 (16 %), ter *tipa 4 – staro mestno jedro* z visoko gostoto stavb in podpovprečno gostoto prebivalstva (15,4 %).

Ljubljana

Ljubljana ima specifično urbano strukturo, za razliko od Berlina in Dunaja so posamezna morfološka območja razmeroma majhna in prostorsko razdrobljena ter so navadno sestavljena iz različnih tipov stavb. Razvrstitev morfoloških tipov v Ljubljani temelji na treh parametrih: starosti gradnje, funkciji območij in značilnosti grajene strukture. Dimitrovska Andrews in sodelavci (2001) so tako opredelili 15 različnih tipov urbanih območij, pomembnih za identiteto mesta. Razvrstitev temelji na zgodovinskih obdobjih urbanističnega razvoja in ne zajema celotnega mesta. S to tipologijo so opredeljena tipična urbana območja s prepoznavnimi urbanih oblikami in arhitekturnimi značilnostmi.

Leta 2016 je bila objavljena tipologija stanovanjskih območij v Ljubljani (Tiran idr., 2016). Opredeljenih je bilo 16 tipov stanovanjskih območij, razvrščenih v štiri skupine glede na število stanovanjskih enot: območja enostanovanjskih hiš, območja večstanovanjskih hiš, mešana eno- in večstanovanjska območja ter območja blokovske gradnje. Analiza je pokazala, da je leta 2016 največji delež prebivalstva (25 %) živel v blokovskih stanovanjskih soseskah, skupaj pa je nekoliko manj kot polovica prebivalstva v Ljubljani živela na območjih blokovske gradnje. Približno 20 % prebivalstva je živelo na novejših območjih enostanovanjskih hiš, manjši delež prebivalstva pa v drugih tipih stanovanjskih območij. Koncept blokovske stanovanjske soseske je po letu 1965 postal osnovna oblika gradnje. Temelji na razdelitvi sosesk v četrti, v katerih so različni tipi stavb: stolpnice, nizki prostostoječi bloki in stanovanjski bloki v nizih. Za te blokovske stanovanjske soseske je značilna višja kakovost bivalnega okolja v primerjavi s povojno blokovsko gradnjo, s stanovanjskimi bloki ali stolpniciami, sicer zgrajenimi na podlagi takratnih urbanističnih konceptov. Sodobna blokovna gradnja je tipološko drugačna, najpogostejši so vila bloki. V obdobju pospešene urbanizacije v zadnjih desetletjih so nastala novejša območja enostanovanjskih hiš, ki so zelo razširjen tip gradnje v Ljubljani.



Slika 5.9: Plečnikova hiša v Ljubljani, na kateri je bila zelena stena (divja trta) ohranjena po prenovi leta 2015 kot del prvotne podobe (fotografija: Damjana Gantar)

4.2 Vertikalne ozelenitve in stavbe kulturne dediščine

Stavbe, zaščitene kot kulturna dediščina, in druge stavbe s kakovostnimi zunanjimi elementi so specifična skupina stavb, kar se tiče načrtovanja in izvajanja posegov, ki bi vplivali na njihov videz. K tem posegom spada tudi izvedba vertikalne ozelenitve fasade. Pri varstvenih zahtevah oziroma dovoljenih posegih obstajajo razlike glede na to, kakšen varstveni status ima stavba (ali je zavarovana kot del naselbinske dediščine ali varovana sama po sebi, kot stavbna dediščina), in tudi glede na tip vertikalne ozelenitve, ki bi ga želeli izvesti (tradicionalna ali sodobna izvedba). Nekatere stavbe so morda že kmalu po izgradnji dobile tudi zeleno fasado in je to del njihove podobe. V takih primerih se pri prenovi navadno predlaga ohranitev zelene fasade.

Za vsako posamezno stavbo, zavarovano kot stavbna kulturna dediščina, obstajajo določene omejitve, ki jih navadno ni mogoče posplošiti na neko skupino stavb (npr. na vse stavbe iz istega obdobja). Na ravni držav to tematiko obravnavajo splošni dokumenti, ki vsebujejo smernice o prenovi stavb kulturne dediščine in lastnikom pomagajo pravilno ukrepati v postopku prenove (npr. BDA, 2011; Ministrstvo za infrastrukturo Republike Slovenije, 2016; English heritage, 2018). V naslednjih podpoglavjih predstavljamo možnosti spreminjanja fasade zaradi izvedbe vertikalne ozelenitve v primeru prenove stavb kulturne dediščine, kratek pregled

izbranih primerov smernic in rezultate GIS analize o varstvu kulturne dediščine kot omejevalnem dejavniku za ozelenitev fasad v Berlinu za preprečevanje toplotne obremenitev v notranjih prostorih stavb

4.2.1 Možnosti ozelenitve fasad pri stavbah kulturne dediščine

Fasada spada med najpomembnejše in največkrat tudi najbolj zaščitene elemente stavbne dediščine – če je stavba zaščitena zaradi kakovostnega zunanjega oblikovanja. Fasada daje stavbi značaj in odraža njeno pomembnost. Stavba ima navadno štiri zunanje stene ali fasade, v strnjenem nizu pa lahko tudi le dve fasadi.

Glavna fasada je vidno najbolj izpostavljena in sooblikuje ulični niz ali podobo kraja. Ker je navadno bolj kakovostno in podrobno oblikovana, je pogosto strožje zaščitena kot ostale (stranske ali dvoriščne) fasade. Glavna fasada je pročelje stavbe, ki nam, zlasti ko govorimo o zgodovinskih stavbah, s svojo podobo, oblikovanjem, bogato dekoracijo in izbiro materialov sporoča, kaj je v notranjosti stavbe, kdo so bili njeni lastniki in kakšen je bil njihov družbeni status. Poleg glavne fasade videz stavbe dopolnjujejo stavbni elementi, kot so portali, stebri, balkoni, terase in napušči. Dvoriščna fasada je bolj zasebna in skrita pred pogledi. Zlasti v mestih, kjer so stavbe večkrat spreminjali, obnavljali ali povečevali, so stranske in dvoriščne fasade pogosto bolj spremenjene in posledično manj strogo zaščitene. V modernistični arhitekturi v dvajsetih in tridesetih letih 20. stoletja se je uveljavil tip prostostojećih stanovanjskih stavb (kubusov), obdanih z odprtim zelenim prostorom, pri katerih se ulična in dvoriščna fasada nista več razlikovali, temveč sta bili enako pomembni. Tako načelo je značilno tudi za nova stanovanjska naselja, zgrajena po drugi svetovni vojni, in za nekatere javne stavbe v mestih.

Kompozicija fasade, ki navadno ustreza določenemu zgodovinskemu slogu, se odraža v osnovni vertikalni in horizontalni členitvi, v razmerjih med celoto in deli ter v razporeditvi okenskih in vratnih odprtin. Vse te prvine določajo značaj fasade in posredno tudi značaj stavbe kot celote. Fasade so pogosto okrašene z bogatimi skulpturalnimi dekoracijami, reliefi, barvnimi ometi in dekoracijami v različnih tehnikah, zato je prenova zunanosti fasad zgodovinskih stavb zahtevna naloga. Spreminjanje kompozicije fasade med prenovo zaradi katerega koli razloga je tvegano, saj spreminja arhitekturni značaj stavbe, in je upravičeno le, če obstajajo zelo močni argumenti, kot je spremenjen namen stavbe ali prilagoditev novim standardom (npr. dostop za invalide). Tudi v tem primeru je treba posege izvajati tako, da je vpliv na bistvene značilnosti fasade čim manjši.

Ohranjanje prvotnega videza, zlasti za glavne fasade, je v kulturnovarstvenem mnenju in soglasju najpogostejše najstrožje opredeljeno. Tako na primer smernice za posege v stavbno dediščino v Sloveniji (ZVKDS, 2015) določajo temeljite predhodne raziskave stavbe, med katerimi so tudi sondažne raziskave ometov. Pooblaščen strokovna služba na podlagi rezultatov pripravi barvno študijo. Pri prenovi se priporoča uporaba tradicionalnih materialov, delni posegi v fasado načeloma niso sprejemljivi, dekoracijo fasade kot sestavni del fasade je treba ohraniti in prenoviti skladno z načeli obnove, če pa se fasada pri prenovi poškoduje ali uniči, jo je treba obnoviti ali rekonstruirati (kot popolno repliko) skladno z dokumentacijo. V Sloveniji je treba pri prenovi spomeniško zaščitene stavb upoštevati pogoje varstva kulturne dediščine, ki jih pripravi pristojna (območna) enota Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije, kar velja zlasti za izraženo namero o prenovi skladno z opredeljenim varstvenim režimom.

Obstajajo tudi splošne smernice za energetske prenove stavb kulturne dediščine (Ministrstvo za infrastrukturo Republike Slovenije, 2016), ki določajo ohranjanje uličnih fasad, kadar so stavbe zaščitene zaradi svoje vrednosti (stavbna dediščina) ali kot del naselja (naselbinska dediščina). Smernice opisujejo ukrepe, namenjene energetski prenovi stavb. Zunanja izolacija sten je opredeljena kot ukrep z nesprejemljivim vplivom (na petstopenski lestvici), vendar pa smernice izpostavljajo, da načelno zavračanje tega ukrepa pri vseh stavbah kulturne dediščine ni upravičeno. Z gradbenofizikalnega vidika je to najučinkovitejši ukrep za izboljšanje toplotne učinkovitosti stavbe ter je priporočen za preprosto oblikovane fasade, zelo dotrajane in poškodovane fasade, dvoriščne fasade ali stranske fasade itd. Slovenske smernice (Ministrstvo za infrastrukturo Republike Slovenije, 2016) neposredno ne omejujejo izvedbe vertikalnih ozelenitev. Podobno tudi avstrijske smernice (BDA, 2011) za energetske prenove določajo sprejemljivost ukrepov z vidika varstva kulturne dediščine v treh stopnjah (zeleni, rumeni in rdeči). Spreminjanje zunanje fasade s toplotno izolacijo načeloma ni priporočljivo (rdeča stopnja). Izjeme so mogoče le za dele fasade, ki prvotno niso bili načrtovani tako, da bi bili vidni (npr. požarna stena), vendar pa je tudi v tem primeru to dovoljeno le, če enakega učinka ni mogoče doseči z alternativnimi ukrepi.

Dodajanje sistema vertikalne ozelenitve na fasado je mogoče obravnavati podobno kot dodajanje toplotne izolacije, saj spremeni zunanji ovoj stavbe. Izvajanje vertikalne ozelenitve bolj spremeni videz fasade, vendar ga je mogoče zasnovati s soglasjem ustreznih svetovalcev in strokovnjakov. Interdisciplinarna skupina lahko določi, katere dele zunanosti stavbe je mogoče spremeniti. Notranja dvorišča, slepe fasade, zunanja stopnišča ali druge dozidave morda ponujajo ustrezne površine za

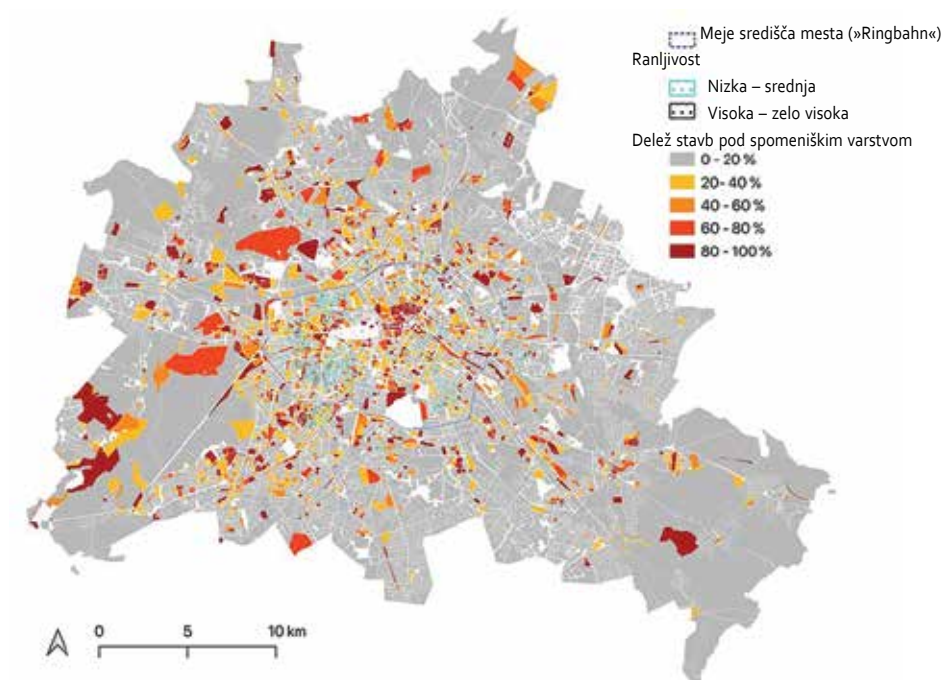
dodajanje nekaj sodobnih in zelenih prvin stavbam kulturne dediščine. Vertikalne ozelenitve je mogoče na stavbe dodati tudi tako, da se videz stavbe skoraj ne spremeni ali se spremeni samo začasno (npr. enoletne rastline na vrveh).

4.2.2 Varstvo kulturne dediščine kot omejevalni dejavnik za ozelenitev fasad v velikem obsegu za preprečevanje toplotne obremenitve v notranjih prostorih stavb – GIS analiza za Berlin

Raziskava skuša odgovoriti na vprašanje, kako varstvo kulturne dediščine (predvsem kulturnih spomenikov) omejuje izvajanje ozelenitve fasad, ki je ena od strategij prilagajanja na toplotno obremenitve v Berlinu. Število »poletnih dni« (najvišja temperatura zraka $\geq 25^{\circ}\text{C}$) in »vročih dni« (najvišja temperatura zraka $\geq 30^{\circ}\text{C}$) v Berlinu se je od leta 1960 močno povečalo, prav tako pa se je povečala tudi pogostost »tropskih noči« (najnižja temperatura zraka $\geq 20^{\circ}\text{C}$), kar je mogoče pripisati podnebnim spremembam in učinku toplotnega otoka v mestih (SenUVK, 2016, 2018). Visoke poletne temperature lahko povzročijo upad delovne produktivnosti (Lundgren idr., 2013) ter zvišanje obolevnosti in umrljivosti, zlasti med starejšim prebivalstvom (Oudin Åström idr., 2011). Buchin in sodelavci (2016) so ugotovili, katera so največja tveganja za toplotno obremenitev v notranjih prostorih stavb. Ozelenitev fasad, ki je dokazana strategija za prilagajanje toplotnim obremenitvam, je pri spomeniško zaščiteneh stavbah in zlasti pri fasadah prepovedana. V kakšnem obsegu varstvo kulturne dediščine dejansko omejuje izvajanje ozelenitev fasad v mestnih središčih z visoko toplotno obremenitvijo, pa do zdaj še ni bilo opredeljeno.

Rösch (v tisku) opredeljuje delež stavb, zaščiteneh zaradi varstva kulturne dediščine v Berlinu, na podlagi GIS analize. Analiza je bila izvedena na treh ravneh – za celotno mesto, za središče mesta in na ravni stavbnih blokov. Za izračun deležev zavarovanih stavb so bili upoštevani podatkovni sloji stavb, kulturnih spomenikov, stavbnih blokov in (horizontalnih) mestnih zelenih površin v Berlinu. Delež zaščiteneh stavb je bil izračunan posebej za vsak stavbni blok v Berlinu. Da ne bi prišlo do nepravilnih rezultatov, so bile zelene površine v mestu izključene. Dodatno smo primerjali podatke o ranljivosti za toplotno obremenitev, ki so jih pripravili Dugord in sodelavci (2014), s karto zaščiteneh stavb na ravni posameznih stavbnih blokov (slika 5.10).

Opredeljena so bila območja, ki združujejo potencialno ranljivost za toplotno obremenitev ter 50- in večodstotni delež stavb, zaščiteneh zaradi varstva kulturne



Slika 5.10: Karta zaščitenih stavb in potencialne ranljivosti za toplotno obremenitev (avtor: Emil Rösch)

dediščine (slika 5.10). Znotraj območja 80 km² mestnega središča Berlina, ki ga toplotna obremenitev resno prizadeva, varstvo kulturne dediščine preprečuje ozelenitev fasad na stavb v posameznih stavbnih blokih v različnih deležih (od 0 do 100 %). V povprečju je 25,4 % fasad stavb v središču mesta in 16,2 % fasad stavb v celotnem Berlinu zaščitenih, zato jih ni mogoče ozeleniti. Spomeniško varstvo v primerjavi z drugimi omejevalnimi dejavniki na splošno ne ovira ozelenitve fasad v Berlinu, čeprav na 102 stavbnih blokih, ki so ranljivi za toplotno obremenitev in v katerih živi 48.122 ljudi, ni mogoča skoraj nikakršna ozelenitev (delež stavb pod spomeniškim varstvom > 50 %, preglednica 5.1).

Rezultati prikazujejo, da je treba v posebnih primerih, kjer obstaja upravičenost zaradi javnega interesa, ki lahko prevlada nad interesom varstva kulturne dediščine, o ozelenitvi fasad razpravljati kot o izjemi od spomeniškega varstva (DSchG Bln, 1995). Ob tem se kaže tudi potreba po razvoju minimalno invazivnih in tudi začasnih (mobilnih) izvedbah ozelenitve fasad, ki bi omogočile ozelenitev skladno z usmeritvami varstva kulturne dediščine.

Preglednica 5.1: Delež zavarovanih stavb na območjih z različno ranljivostjo za toplotno obremenitev ter število stavbnih blokov in prebivalcev v njih

Delež zavarovanih stavb	Brez – zelo majhna potencialna ranljivost za toplotno obremenitev		Nizka – srednja potencialna ranljivost za toplotno obremenitev		Visoka – zelo visoka potencialna ranljivost za toplotno obremenitev	
	Stavbni bloki	Prebivalci	Stavbni bloki	Prebivalci	Stavbni bloki	Prebivalci
< 1 %	9295	1.940.621	302	180.928	100	49.546
1–25 %	1845	647.371	161	120.337	46	33.855
25–50 %	738	244.006	72	47.026	13	8009
50–75 %	409	122.316	27	16.424	3	1289
75–100 %	845	176.174	59	25.383	13	5026

4.3 Tipologija urbanega grajenega tkiva na podlagi *Urbanega atlasa* – analiza urbane strukture za Berlin, Dunaj in Ljubljano

Urbani atlas (angl. *Urban Atlas* – UA) zagotavlja vseevropsko primerljive podatke o pokrovnosti in rabi tal za *funkcionalna mestna območja* (Urban Atlas, 2021). Zagotavlja karte rabe tal visoke ločljivosti in druge prostorske podatke, pridobljene iz različnih virov, ki se lahko uporabljajo za analizo večjih urbanih območij – kot so evropska mesta z najmanj 100.000 prebivalci. Razvrstitev urbanih površin iz UA izhaja iz podatkovne zbirke CORINE Land Cover in je sestavljena iz 27 kategorij, razdeljenih na pet glavnih skupin: (1) grajena območja oziroma površine s prevladujočim človekovim vplivom (brez kmetijskih območij), (2) kmetijska območja, (3) gozdovi in polnaravna območja, (4) mokrišča in (5) vodna območja.

Grajena območja vključujejo kategorijo *urbano tkivo*, ki jo sestavljajo *stavbe in z njimi povezane ureditve*, kot so vrtovi, parki, zasajena območja, neurtjene javne površine in infrastruktura. Urbano tkivo se razlikuje glede na stopnjo pozidanosti oziroma (ne)prekinjenost pozidave tal (prekinjeno ali neprekinjeno grajeno tkivo), ne pa tudi po tipu stavb in njihovi funkciji. Urbano tkivo (po Urbanem atlasu) je sestavljeno v večini iz območij pretežno stanovanjske gradnje, vključuje pa tudi mestna središča, poslovna območja in območja mešane rabe. Druge tipologije t. i. grajenih območij oziroma površin, ki jih lahko potencialno opredelimo kot pomembne za izvedbo zelene infrastrukture, vezane na stavbe, so tudi industrijske, poslovne, javne, vojaške in zasebne stavbe velikih površin ter pogosto z obsežnimi ploskvami slepih fasad.

Mestne zelene površine so v okviru UA uvrščene med urbano tkivo/nekmetijska območja, skupaj s športnimi objekti in objekti za prostočasne dejavnosti. Vendar pa so obsežna območja urbanih zelenih površin, ki so na splošno del urbane strukture in pomembno vplivajo na potrebe po zeleni infrastrukturi, v klasifikaciji podatkov UA v drugih klasifikacijskih skupinah: naravnih in polnaravnih območij, mokrišč, vodnih in kmetijskih površin. Pri analizi stanja mest je treba te kategorije upoštevati skupaj z vsemi tipi površin, opredeljenih kot del urbanega tkiva – s pripadajočimi vrtovi, parki in drugimi zelenimi površinami, ki so del mestnega zelenega sistema, tudi pri opredeljevanju potenciala za izvedbo prvin zelene infrastrukture majhnega obsega, kot so vertikalne ozelenitve.

4.3.1 Uporaba podatkov Urbanega atlasa za vrednotenje urbanih območij

Urbani atlas (UA) zagotavlja primerljive, javno dostopne podatke za vsa večja mesta. Cilj raziskave je bil analizirati urbano strukturo v treh mestih – Berlinu, Dunaju in Ljubljani – z enotnimi primerljivimi podatki ter s poudarkom na ocenjevanju možnosti za vertikalne ozelenitve stavb (ozelenitev fasad). Kot enega od možnih pristopov za obravnavanje urbane tipologije z vidika vertikalnih ozelenitev smo opredelili podatke UA o višini stavb in grajenih območjih glede na njihovo funkcijo ter podatke o stopnji neprepustnosti površin, ki so pomembno izhodišče za ocenjevanje okoljskega stanja urbanih območij in potreb po dodatnem ozelenjevanju oziroma ukrepih, ki izboljšujejo stanje okolja.

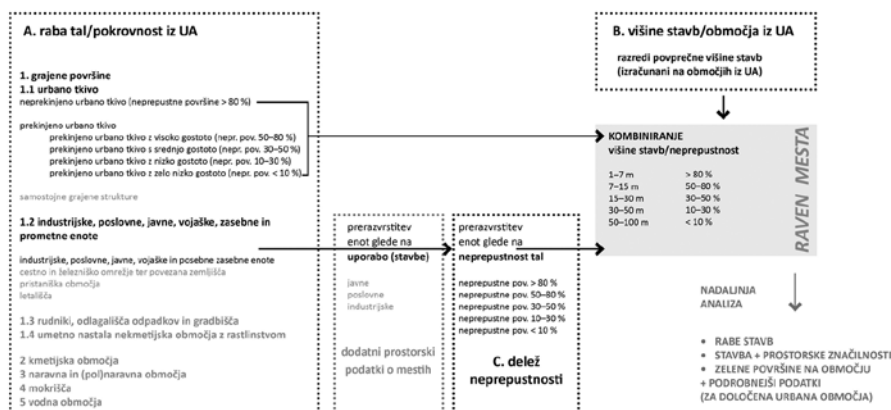
Izhodišče analitičnega pristopa je kombiniranje dostopnih podatkov UA o višinah stavb in funkciji območij. V začetni fazi sta bila uporabljena podatka o gostoti pozidave in rabi prostora. Višina stavbe je eden od pomembnih podatkov pri obravnavi potenciala za izvedbo vertikalnih ozelenitev na obstoječih stavbah, zlasti pri izbiri najustrežnejšega sistema vertikalnih ozelenitev. Odločitev o izboru sistema se izvede tudi glede na dano višino izvedbe. Če se vertikalne ozelenitve izvajajo na nizkih višinah, dostopnih s tal, je treba upoštevati možnost fizičnega stika z zeleno steno (uporabniki prostora ipd.), ob izvedbi na višjih višinah pa je treba zadostiti drugim pogojem, predvsem okoljskim in varnostnim (vetrovnost, spremembe mikroklimе, požarna varnost itd.), po navadi pa sta izvajanje in vzdrževanje višjih vertikalnih ozelenitev zahtevnejša.

Podatek, ki ga je mogoče pridobiti v UA, je tudi delež nepropustnosti tal, ki je eden od pomembnih značilnosti urbanih območij ter je povezan s problematiko odvajanja meteornih voda, poletnim pregrevanjem, pa tudi pomanjkanjem zelene infrastrukture in, potencialno, z možnostmi načrtovanja vertikalnih ozelenitev.

Analiza urbane tipologije v povezavi z izvedbo vertikalne ozelenitve je bila osredotočena na dve vrsti grajenih območij – (1) *urbano tkivo* ter (2) *industrijske, poslovne, javne, vojaške in druge enote*. Razvrstitev območij *urbanega tkiva* v Urbanem atlasu temelji na treh parametrih:

- kontinuiteti (neprekinjeno/prekinjeno oziroma povezano/nepovezano stavbno tkivo),
- višini stavb (nizke, srednje in visoke stavbe) in
- gostoti pozidave (pet stopenj; od zelo nizke do visoke gostote, odvisno od odstotka pozidave ter utrjenosti tal).

Na podlagi teh parametrov so območja razvrščena v pet kategorij urbanega tkiva. Območja *neprekinjene oziroma povezane pozidave* predstavljajo vsa območja s pretežno stanovanjskimi območji ter območji mešane rabe s pozidavo in utrjenostjo tal nad 80 %, drugi sloji (s pozidavo tal pod 80 %) pa so območja *prekinjene oziroma nepovezane pozidave*. *Urbano tkivo* (po Urbanem atlasu) vključuje večinoma stanovanjsko gradnjo, ne pa tudi drugih stavb ali struktur, primernih za vertikalne ozele nitve ter opredeljenih v skupini *industrijskih, poslovnih, javnih, vojaških in posebnih (transportnih) enot*. Kot je predstavljeno na primeru Ljubljane, je v praksi mogoče podatke prilagoditi glede na potrebno natančnost rezultatov. Pri analizi smo povprečne višine stavb iz rastrskega sloja UA višina stavb ((angl. *Building Height*), 2012) in gostote neprepustnosti ((angl. *Imperviousness Density*), 2018) izračunali za prostorske enote Urbanega atlasa (2018). Rezultat so razredi povprečnih višin stavb (1–7 m, 7–15 m, 15–30 m, 30–50 m, 50–100 m) in stopnje pozidanosti tal (< 10 %, 10–30 %, 30–50 %, 50–80 %, > 80 %) za mestna območja.



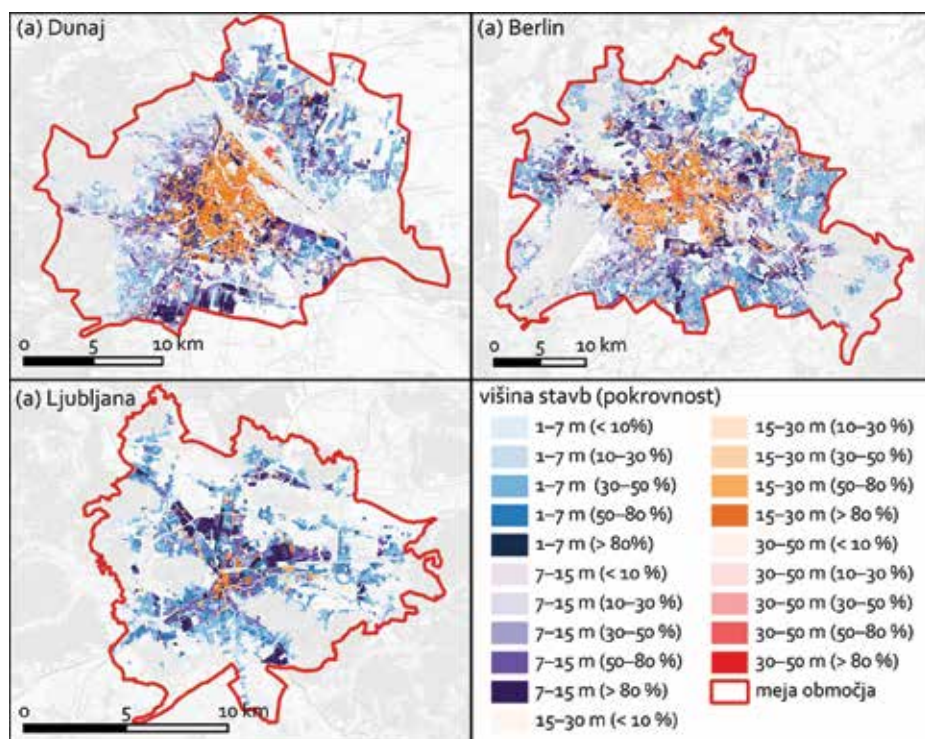
Slika 5.11: Shema kombiniranja podatkov iz javno dostopnih virov (Evropska komisija - Copernicus - ECMWF, 2020) – analiza rabe tal, višine stavb in pozidanosti območij oziroma neprepustnosti iz UA za tri mesta (avtorica: Jana Kozamernik)

4.3.2 Analiza tipov urbanih območij za tri mesta

Pri analizi mest Berlin, Dunaj in Ljubljana smo kombinirali podatke o pozidavi tal in višinah stavb različnih razredov ter jih izračunali za prostorske enote iz UA (poligone). Na podlagi tega smo pripravili kartografske prikaze, ki združujejo povprečne višine stavb in neprepustnost tal. Izpostavljena so območja z visokimi stavbami in velikim deležem pozidave tal. Na teh območjih obstaja velika možnost, da bodo zaradi obstoječe pozidave vertikalne ozelenitve med prednostnimi ukrepi za izboljšanje okoljskih in bivanjskih razmer. Predpostavljamo, da obstaja na takih območjih majhna možnost za vzpostavitev drugih tipov zelenih površin, prav tako pa imajo višje stavbe večje površine fasad, zato bi bilo na njih potencialno mogoče izvesti več vertikalnih ozelenitev kot na nižjih stavbah (ob preveritvi drugih pogojev glede samih fasad). Na takih območjih bi bila korist vertikalnih ozelenitev lahko zelo velika. Kljub tem predvidevanjem je za nadaljnjo podrobno analizo treba opraviti druge raziskave na ravni stavb in urbanih ambientov, zlasti glede možnosti izvedbe sistemov vertikalnih ozelenitev na fasadah s tehnično-varnostnih vidikov in arhitekturno-oblikovnih vidikov (statične preveritve, izbor sistema, razmerje med površino zasteklitve in fasade itd.).

Predstavljena analiza na mestni ravni je lahko izhodišče za nadaljnje podrobnejše analize za manjša izbrana območja. Potencial prikazane analize je interpretacija možnosti za izvedbo vertikalne ozelenitve glede na opredeljeno rabo – območja s stanovanjskimi ali drugimi funkcijami, saj je namen vertikalne ozelenitve lahko različen. Za nekatere tipe stavb (npr. stanovanjske) je treba upoštevati ustrezno osvetljenost prostorov, nekateri tipi stavb (npr. poslovne) imajo po navadi večje okenske površine, zato je možnost za vertikalne ozelenitve vprašljiva. Analize na ravni mesta niso dovolj natančne za določitev elementov podrobnega merila, pomembno je torej, da se konkretna ozelenitev fasad obravnava v podrobnejšem merilu in na ravni stavb.

UA omogoča razlikovanje med stanovanjskimi območji glede na določene tipe, območja z različno nestanovanjsko gradnjo stavb pa so združena v enem tipu. Po razvrstitvi iz UA so *industrijske, poslovne, javne in vojaške enote združene v enotno kategorijo*, ki združuje več rab, zato jih je treba za namen analize razdeliti tako, da se območja z javnimi funkcijami (izobraževalne, zdravstvene, kulturne itd.) ločijo od območij s poslovnimi, industrijskimi in drugimi funkcijami. S tem pridobimo informacije o potencialnih uporabnikih in deležnikih ter lažje ocenimo različne možnosti upravljanja in vzdrževanja ter možne funkcije, ki jih vertikalne ozelenitve lahko zagotavljajo (npr. funkcija, povezana s podnebjem, upravljanjem deževnice ali izobraževanjem, v »javnih izobraževalnih« podenotah). Pomemben vidik, ki ga



Slika 5.12: (a) Dunaj, (b) Berlin in (c) Ljubljana – prostorske enote iz UA z različnimi povprečnimi višinami stavb in deleži neprepustnosti. Različne barve prikazujejo povprečne višine stavb (modra: enote s povprečno višino stavb 1–7 m; vijoličasta: enote s povprečno višino stavb 7–15 m; oranžna: enote s povprečno višino stavb 15–30 m; rdeča: enote s povprečno višino stavb 30–50 m) ter različne odstotke neprepustnih površin, najtemnejše barve prikazujejo najbolj neprepustna območja (> 80 % neprepustnih površin) (avtor: Simon Koblar)

je treba upoštevati za podrobnejšo razvrstitev, je tudi pričakovani tip fasade glede na potrebne odprtine (okna). Za objekte, kot so nakupovalna središča, industrijski objekti, skladišča itd., so navadno značilne velike slepe fasade, ki lahko v večji meri predstavljajo potencial za vertikalne ozelenitve stavb.

Prerazporeditev nestanovanjskih območij v podenote, ki je predlagana zgoraj, se izdela na podlagi drugih dopolnilnih podatkov kot nadgradnja podatkov iz UA. To analizo smo opravili za Ljubljano, tako da smo podenote UA nadalje razdelili z namenom preverjanja možnosti izvajanja vertikalnih ozelenitev na večjih javnih stavbah in v poslovnih območjih. Dopolnitev modela z natančnejšimi podatki je ustrezen način, ki vodi k bolj določeni interpretaciji rezultatov analize. Analiza za tri mesta je bila opravljena brez dodatne razvrstitve v podkategorije tipov, ker je bil

cilj predvsem preizkusiti uporabnost podatkov iz Urbanega atlasa, ki so dostopni za vsa večja mesta in zato omogočajo primerjavo med mesti. Rezultati kažejo jasne razlike med tremi mesti glede grajenih struktur in gostote. Dunaj in Berlin sta veliki strnjene metropoli z gosto pozidanim središčem in višjimi stavbami kot Ljubljana, ki je manjše mesto po obsegu in grajenem stavbnem tkivu.

4.4 Geoinformacijska podpora za določitev primanjkljaja zelene infrastrukture v urbanih območjih

Kartiranje različnih prostorskih značilnosti na ravni mesta je bistveno pri vseh postopkih prostorskega načrtovanja, tako na ravni analize in vrednotenja kot na ravni priprave končnih načrtov. Ob vse večji ozaveščenosti o pomenu naravnih prvin v sodobnih mestih se krepi tudi potreba po ukrepih za izvajanje strategije zelenih površin (zelenih sistemov, sistemov zelene infrastrukture). Pri njihovem določanju se upoštevajo različni vidiki, ki opredeljujejo kakovost urbanih prostorov. Z analizo, ki smo jo izvedli v sklopu projekta, smo na podlagi predvidenih učinkov zelene infrastrukture na urbani prostor in na uporabnike poskušali opredeliti mestna območja, na katerih je treba zagotoviti več zelenih površin oziroma elementov zelene infrastrukture.

Cilj geoinformacijske podpore odločanju za določitev primanjkljaja zelene infrastrukture v urbanih območjih je opredeliti območja z velikim pomanjkanjem zelene infrastrukture (ZI). S kombiniranjem različnih tipov analize na mestni in podrobnejši ravni je mogoče nadalje ovrednotiti možnosti in podrobneje opredeliti različne tipe elementov zelene infrastrukture. V GIS analizi je mogoče različne dele zelene infrastrukture kartirati kot osnovne podatke o rabi tal, vendar pa GIS kot orodje za načrtovanje ne more določiti, katera vrsta elementov zelene infrastrukture je primerna na določenem območju (npr. klasične zelene površine, kot so parki, obvodne površine itd., vertikalna ozelenitev ali zelene strehe). Upoštevati je treba, da ima GIS model kot orodje nekatere omejitve ter da ima določeno natančnost in primernost glede na obseg in merilo analiz. Zato je treba podrobnejše rešitve, povezane z urbanističnim oblikovanjem, kot je podrobna zasnova zelene infrastrukture, določiti naknadno. Zagotoviti je treba natančnejše podatke ter vrednotenje stanja (ožjega) prostorskega konteksta in druge strokovne analize. Cilj predstavljene GIS analize je raziskati možnosti za razvoj primerljive osnove za določanje prednostnih območij za zeleno infrastrukturo na ravni mest.

4.4.1 Vključevanje družbenih in okoljskih vidikov na ravni mesta

Za potrebe geoinformacijske podpore odločanju za določitev primanjkljaja zelene infrastrukture v urbanih območjih smo razvili homocentrični kazalnik, ki kaže, na katerih območjih bi bilo smiselno uvesti dodatne elemente zelene infrastrukture zaradi potencialnih koristi za ljudi. Pri tem so se upoštevala obstoječa območja zelenih površin v urbanem prostoru in intenzivnost učinka toplotnega otoka v mestih (toplotne obremenitve poleti). Območja s primanjkljajem zelene infrastrukture ali prednostna območja za vzpostavitev zelene infrastrukture so območja, na katerih je v zunanjih prostorih več ljudi, tista z večjo intenzivnostjo učinka toplotnega otoka v mestih in manj obstoječe zelene infrastrukture ter obratno. Kategorije kazalnikov – ljudje, okolje in podnebje – smo izbrali za analizo na podlagi pričakovanih učinkov zelene infrastrukture. Pri tem smo upoštevali razpoložljivost in natančnost podatkov na ravni mesta, ki so na voljo.

Kar zadeva ljudi, homocentrični kazalnik predpostavlja, da več kot je prisotnih ljudi na določeni lokaciji v mestu, večje so koristi dodatne zelene infrastrukture. Vendar pa bodo v primeru, ko je na določenem območju že veliko obstoječih zelenih površin, učinki izvajanja nove zelene infrastrukture manjši. Po drugi strani bo na območjih z malo zelenih površin ali brez njih imel celo majhen dodatni element zelene infrastrukture (npr. zelena fasada) opazne pozitivne učinke. Poleg tega smo v model vključili vidike učinka toplotnega otoka v mestih ter s tem podnebnih sprememb in usmerjenosti urbanističnega načrtovanja v prilagajanje podnebnim spremembam.

Okoljska vprašanja smo najprej obravnavali z običajnimi vidiki okoljske in prostorske kakovosti zelene infrastrukture, ki se nanašajo na različne obstoječe tipe zelenih površin in prvin (ne glede na tipologijo rabe tal). Pri analizi razpoložljivih podatkov smo ugotovili, da je uporaba podatkov o stopnji neprepustnosti, ki prikazuje stopnjo pozidave tal, zelo podroben in preprost pristop, precej primerljiv s podatki o prisotnosti zelenih površin. To je zlasti pomembno pri opredelitvi primanjkljaja zelene infrastrukture, saj posredno omogoča zajemanje podatkov o zelenih površinah, ki jih prostorski podatki drugače ne zagotavljajo. Za čim podrobnejšo obravnavo tega vprašanja smo dodali podatke iz sloja mestnih dreves iz UA. Za določitev možnih območij, na katerih bi bila okrepitev ZI (ki vključuje tudi vertikalno ozelenitev) lahko ukrep izboljšanja stanja, smo uporabili naslednje vhodne podatke:

- število prebivalcev;
- lokacije dolgo- in kratkotrajnih dejavnosti kot vidik prisotnosti ljudi v prostoru;
- okoljske podatke o stopnji nepropustnosti tal in sloju mestnih dreves ter
- podatke o učinku toplotnega otoka v mestih, povezane s podnebjem.

Za vsa tri območja primerjalne študije – Ljubljano, Dunaj in Berlin – smo izračunali kazalnik, ki kaže primanjkljaj zelene infrastrukture. Cilj je bil uporabiti enake javno dostopne vhodne podatke za vsa tri mesta, da bi omogočili primerjave med mesti in prihodnjo uporabo metodologije za druga mesta. Vendar pa smo morali zaradi zagotavljanja primerljivosti uporabiti podatke nižje ločljivosti in izpustiti nekatere potencialno pomembne vire podatkov, ki so na voljo samo v nekaterih mestih.

4.4.2 Izračun indeksa

Eden od izzivov je bil združiti različne vrste podatkov. To smo rešili s standardizacijo, pri kateri smo prvotne vrednosti pretvorili v statistično z-vrednost, ki je kazala standardni odklon od povprečnih vrednosti. Vsi vhodni podatki so bili v rastrski obliki ali pretvorjeni v rastrsko obliko pred izračunom z-vrednosti. Z-vrednost smo izračunali za urbanizirana območja v mestih, večje zelene površine pa smo izključili iz območja obravnave. Za kartiranje meje območja obravnave smo kot osnovni sloj uporabili območja grajenih površin iz Urbanega atlasa 2018 (Forslund, 2020a), ki smo jim dodali vplivni pas v širini 50 m, s čimer smo območje analize nekoliko povečali na nepozidana območja. Območja, ki jih te kategorije zajemajo, smo omejili na območje mesta, ki ga določata regija NUTS 3 za Dunaj in Berlin ter mejo naselja Ljubljane (brez zaledja). V primeru Ljubljane regija NUTS 3 vključuje tudi majhna sosednja naselja, zato smo območje omejili samo na območje mesta. Končno analizo območja za vsako mesto smo prilagodili glede na podatke temperaturne karte.

Podrobne informacije o podatkih, uporabljenih v GIS analizi, in njihova priprava za nadaljnje izračune:

1. Ljudje

- 1.1 Število prebivalcev – rastrski sloj naselij na svetovni ravni za leto 2015 z ločljivostjo 250 m (Pesaresi idr., 2019).
- 1.2 Dolgotrajne dejavnosti – lokacije zdravstvenih ustanov, izobraževalnih ustanov in domov za ostarele, pridobljene iz zemljevida OpenStreetMap. Pridobljene značilnosti smo pretvorili v podatke o točkah in z orodjem QGIS 3.16 (2021) 24.1.4.1 Heatmap (Kernel Density Estimation) ustvarili karto gostot s polmerom iskanja 200 m. Nične vrednosti smo pretvorili v 0, da smo omogočili izračun z-vrednosti.
- 1.3 Kratkotrajne dejavnosti – trgovine, restavracije, kavarne iz zemljevida OpenStreetMap. Podatke smo obdelali enako kot pri dolgotrajnih dejavnostih.

2. Okolje

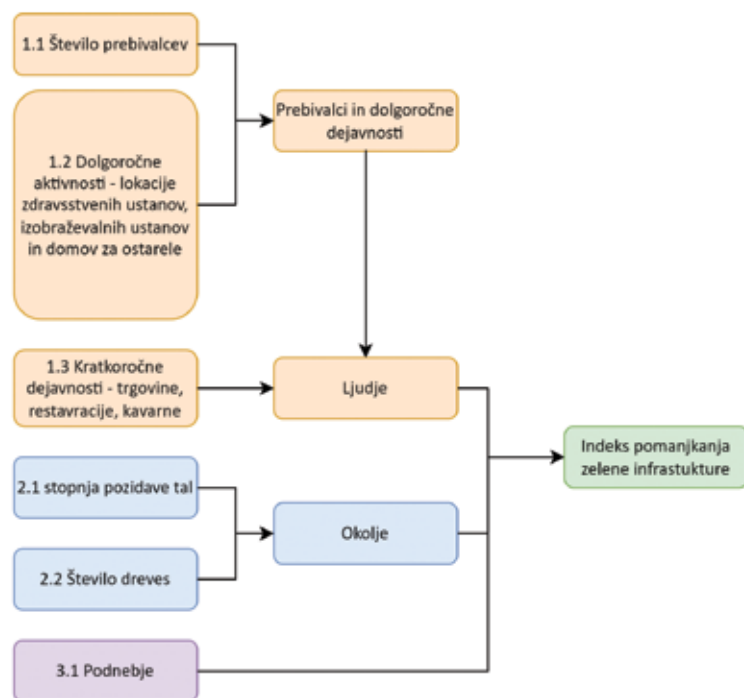
2.1 Stopnjo pozidave tal smo pridobili iz rastrskega sloja gostote neprepustnosti z ločljivostjo 10 m (Gostota neprepustnosti 2018 – Storitve programa Copernicus za spremljanje kopnega, 2020).

2.2 Sloj mestnih dreves – uporabili smo del Urbanega atlasa (Forslund, 2020b). Območja smo pretvorili v točke z gostoto 10 m. Ta točkovni sloj smo pozneje pretvorili v toplotno karto (enako kot pri točki 1.2).

3. Podnebje

3.1 Uporabili smo rastrske podatke o učinku toplotnega toka v mestih za julij 2017 za vsako mesto (podnebne spremenljivke za mesta v Evropi v letih od 2008 do 2017, 2019). Iz sloja, ki je vseboval meritve v enournih intervalih, smo izračunali povprečno mesečno temperaturo.

Koraki združevanja podatkov pri izračunu indeksa primanjkljaja zelene infrastrukture so prikazani na sliki 5.13. Osnovne vhodne podatke (1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 3.1) smo najprej standardizirali na z-vrednost. Vsaka povezava predstavlja postopek

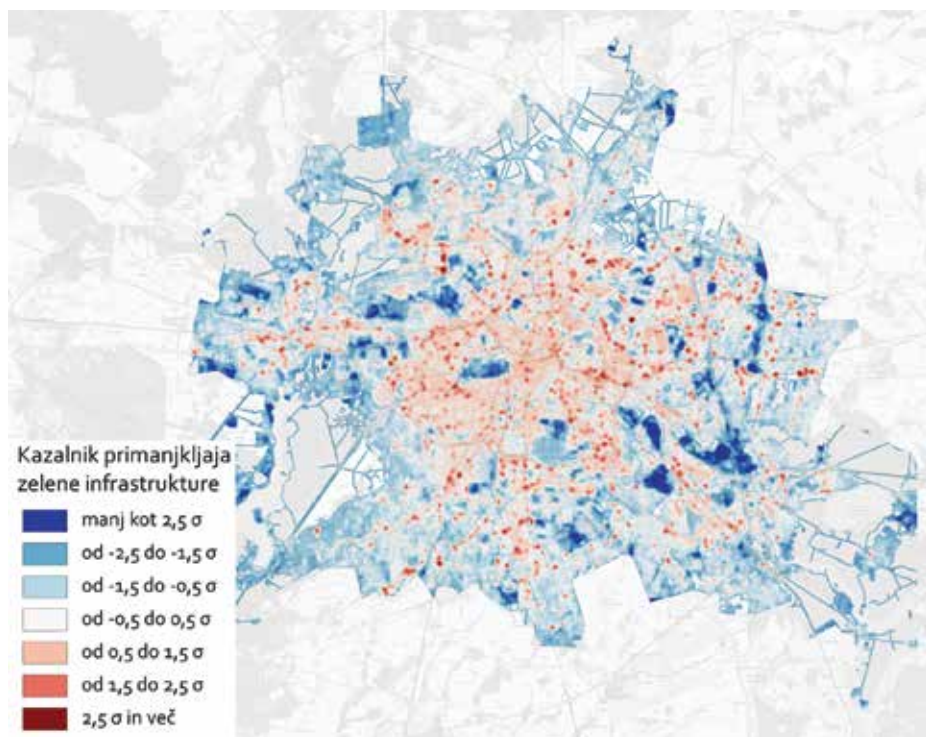


Slika 5.13: Uporabljeni koraki in postopek združevanja podatkov za izračun indeksa primanjkljaja zelene infrastrukture (avtor: Simon Koblar)

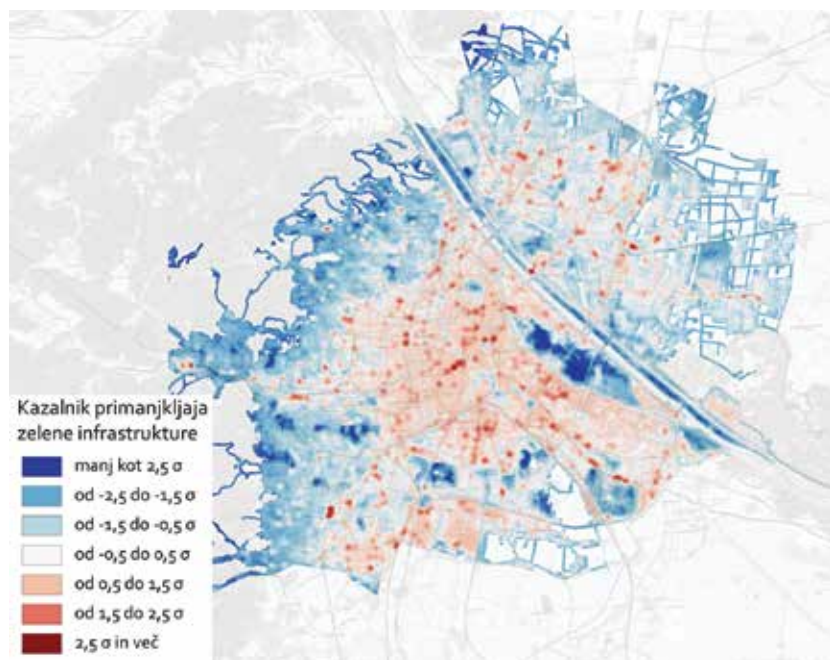
seštevanja podatkov iz prejšnjega koraka in izračuna z-vrednosti kombiniranega sloja. Izjemo smo naredili pri sloju mestnih dreves, kjer smo z-vrednost odšteli od stopnje pozidave tal. Pozitivne vrednosti v kombiniranem sloju »okolje« predstavljajo območja z večjo stopnjo pozidave tal in manjšo gostoto dreves. Z-vrednost za podnebje (vrednost učinka toplotnega otoka v mestih) smo neposredno vključili kot enakovreden del izračuna.

4.4.3 Kartiranje pomanjkanja zelene infrastrukture

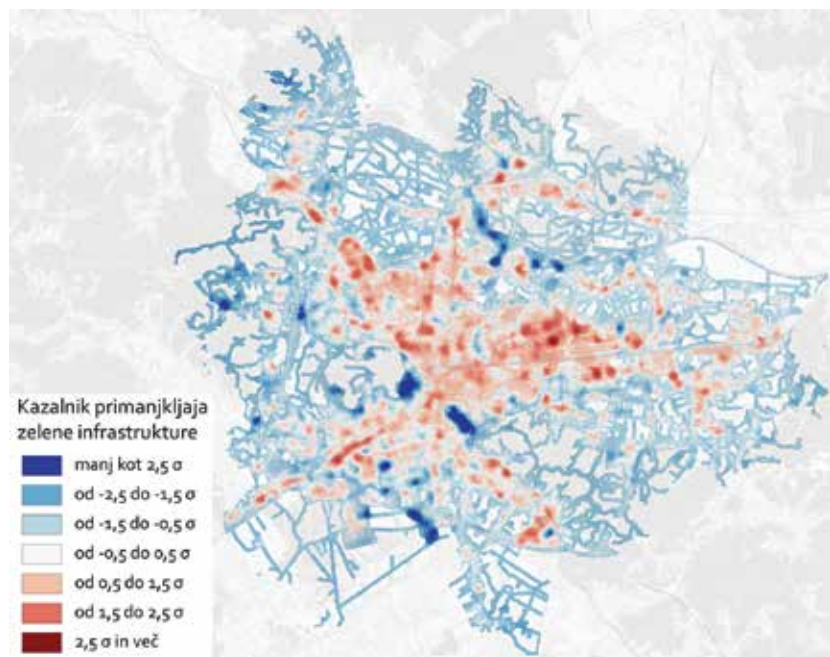
Izračuni indeksa z-vrednosti vseh kombiniranih slojev so predstavljeni na kartah (glejte sliko 5.14), ki za analizirano območje prikazujejo odstopanja od povprečnih vrednosti (z-vrednosti). Indeks pomanjkanja ZI kaže potrebo po izvajanju zelene infrastrukture ob upoštevanju vzorčnih podatkov – prisotnost ljudi na lokacijah, izbranih okoljskih podatkov in poletnih temperatur. Vrednosti, izračunane v modelu, so predstavljene z barvno lestvico. Modra območja prikazujejo negativne vrednosti (kar pomeni manjšo potrebo po novih posegih za krepitev ZI), rdeče



Slika 5.14: Karta indeksa pomanjkanja zelene infrastrukture za Berlin (avtor: Simon Koblar; vir: sodelavci OpenStreetMap, lasten izračun)



Slika 5.15: Karta indeksa pomanjkanja zelene infrastrukture za Dunaj (avtor: Simon Koblar, vir: sodelavci OpenStreetMap, lasten izračun)



Slika 5.16: Karta indeksa pomanjkanja zelene infrastrukture za Ljubljano (avtor: Simon Koblar, vir: sodelavci OpenStreetMap, lasten izračun)

vrednosti pa pomenijo pozitivne vrednosti – lokacije z večjo potrebo po dopolnitvi zelene infrastrukture. Karte prikazujejo koncentracijo visokih vrednosti (potrebo po dopolnitvi zelene infrastrukture) na gosto pozidanih območjih. Rdeča območja v Berlinu in na Dunaju izpostavljajo večja križišča, v Ljubljani pa so izpostavljena območja z visoko neprepustnostjo in učinkom toplotnega otoka v mestih. Ti rezultati kažejo območja potrebnih izboljšav s vidika izvedbe ZI, ne opredeljujejo pa, kakšne vrste ZI naj bi to bila in kateri tipi zelenih površin so najustreznejši. Kot naslednji korak je treba v podrobnejšem merilu oceniti možnosti in potrebe po uporabi specifičnih elementov ZI (zelenih površin, ozelenitve stavb) ter opraviti strokovne analize in oceno specifičnih pogojev na mikro urbani ravni.

Predstavljen pristop izračuna primanjkljaja zelene infrastrukture na podlagi izbranih vidikov je pomembna analiza, ki jo je mogoče v prihodnosti z vključitvijo drugih parametrov razviti še naprej. Predstavlja lahko enega od korakov oziroma strokovnih podlag pri oblikovanju zelenega sistema ali sistema zelene infrastrukture mesta (ali strategije razvoja zelenih površin). Vendar pa je nujnost strateškega načrtovanja zelenih površin v mestih kompleksna naloga prostorskega načrtovanja ter rezultat različnih analiz in metod vrednotenja prostora na podlagi določene vizije razvoja mesta.

5 Finančni vidiki vertikalnih ozelenitev s pristopom financiranja na naravi temelječih rešitev

Mesta se soočajo z velikimi izzivi, povezanimi z učinki podnebnih sprememb. Družba se srečuje s hitro urbanizacijo in rastjo prebivalstva ter degradacijo in izgubo naravnega kapitala in povezanih ekosistemskih storitev. Na naravi temelječe rešitve lahko prispevajo k izboljšanju nekaterih najpomembnejših izzivov, kot so mestni toplotni otoki ter zmanjšanje kakovosti zraka in vode, s čiščenjem in filtriranjem, z učinki hlajenja in zadrževanjem vode, zmanjševanjem izgube biotske raznovrstnosti, pa tudi s spodbujanjem javnega zdravja, prehranske varnosti in celo s socialno kohezijo (za t. i. gospodarske, družbene in okoljske dodatne koristi na naravi temelječih rešitev glejte delovno skupino Eklipse 2017 (Raymond idr., 2017)). Evropska skupnost zato na naravi temelječe rešitve predlaga kot večdimenzionalni in stroškovno učinkovit način obravnavanja podnebnih sprememb. Čeprav je povpraševanje po takih rešitvah veliko, se te še ne uporabljajo dovolj učinkovito v večjem obsegu, kar je delno odvisno od ekonomske sposobnosti. Zato je treba podrobneje preučiti strukturo in okvir njihovega financiranja.

Večina financiranja na naravi temelječih rešitev (NTR) izvira iz javnega sektorja in je večinoma namenjena manjšim projektom. Glede na Naturvation (2021) se do 75 % na naravi temelječih rešitev financira izključno iz javnih virov (iz javnega proračuna, z neposrednim financiranjem ali s subvencijami). Običajno so večnamenske, naložba vanje pa prinaša koristi za več panog in upravičencev. Zasebni vlagatelji bodo najverjetneje podprli naložbe v NTR, kadar neposredne koristi za samo podjetje presegajo stroške naložbe. Zato se te večinoma še vedno zanašajo izključno na javne naložbe, vendar pa je pritisk na javne finance večinoma velik. Postavlja se vprašanje, ali se vlaganje v NTR (v primerjavi z drugimi konkurenčnimi prednostnimi nalogami v javnem sektorju) izplača. Kakšen donos naložb lahko NTR zagotovijo za privabljanje alternativnih virov naložb? Kako naj se donos naložb meri – v denarnem znesku ali ob upoštevanju vrednosti, ki izhajajo iz okoljskih in družbenih koristi?

Pritisk na javne finance ni edini razlog, zakaj so potrebne inovacije pri financiranju in poslovnih modelih za take rešitve. Vključevanje širše skupnosti in ustvarjanje lastništva sta drugi potrebni inovaciji, ki bi se lahko vzpostavili s finančnimi instrumenti. Ti finančni instrumenti vključujejo potencial za javno-zasebna partnerstva, plačila za ekosistemske storitve, pomen in izziv ocenjevanja vrednosti na naravi temelječih rešitev za vlagatelje in družbo ter potencial za inovativne instrumente financiranja. Za boljše razumevanje vprašanja financiranja NTR in sposobnost razlikovanja med različnimi možnostmi bomo najprej predstavili možnosti financiranja na naravi temelječih rešitev, ki jih poznamo danes, nato pa predstavili topologijo projekta pametnih mest H2020 (CleverCities, 2021). Nato bomo obravnavali inovativne možnosti financiranja za NTR in možnosti financiranja vertikalnih ozele-nitev – ki so pomemben del urbanih NTR.

5.1 Možnosti financiranja na naravi temelječih rešitev

Za uvajanje inovacij pri možnostih financiranja za širši nabor deležnikov je ključno ovrednotiti dodatne koristi na naravi temelječih rešitev. Na podlagi projektov Evropske mreže o NTR, ki so natančneje opredelili koristi in učinke v okviru programa H2020, je bil objavljen priročnik (Evropska komisija, 2021), ki predstavlja učinke, merljive na podlagi kazalnikov, na katere na naravi temelječe rešitve neposredno ali posredno vplivajo ali pa bi morale vplivati ter tako omogočajo ustrezne koristi. Tako na primer prispevajo k odpornosti urbanih območij z zagotavljanjem ekosistemskih storitev ter družbenim ozaveščanjem in ukrepi za boj proti podnebnim spremembam. Dodatne koristi, ki jih prinašajo na naravi temelječe rešitve, zlasti na urbanih območjih, podpirajo prizadevanja za blažitev učinkov podnebnih sprememb in prilagajanje nanje ter prispevajo k boljšemu življenju v mestih.

Kazalniki na področju odpornosti na podnebne spremembe obravnavajo zlasti:

- neposredne vplive NTR na emisije toplogrednih plinov prek shranjevanja in sekvestracije ogljika v vegetaciji in tleh;
- posredne vplive NTR na preprečevanje emisij toplogrednih plinov iz različnih dejavnosti z zagotavljanjem pasivnega hlajenja, izolacije in/ali čiščenja voda ter
- vplive NTR na temperaturo in udobje ljudi.

5.1.1 Finančne in poslovne spodbude

Kar zadeva financiranje na naravi temelječih rešitev, je treba pozornost nameniti tudi finančnim ali poslovnim spodbudam. Za uvajanje večjega deleža takih rešitev, je treba okrepiti njihovo financiranje. V nekaterih primerih lahko na naravi temelječe rešitve prinesejo tudi finančne koristi, na primer dobičke in prihodke, kadar so neposredno povezani s prihranki stroškov na naravi temelječih rešitev (glejte študijo primera agencije DC Water o obveznicah z učinkom; Goldman Sachs, 2021). Če obstaja poslovna korist financiranja na naravi temelječih rešitev, bodo finančno motivirani vlagatelji – na primer veliki vlagatelji (komercialni vlagatelji), socialni vlagatelji, nepremičninski investitorji, javna podjetja in celo občine – to morda dojemali kot dodatno spodbudo za financiranje projekta. V študiji primera agencije DC Water o obveznicah z učinkom so vlagatelji (komercialni in socialni) in občinska uprava za vode v Washingtonu (ang. *Washington DC Municipal Water Authority*) skupaj financirali na naravi temelječe rešitve za storitve upravljanja voda. Vlagatelji so investirali v zmanjšanje odtoka meteornih voda z izvedbo zelene infrastrukture, ki absorbira meteorne vode. V tem primeru je uprava za vode imela finančne koristi, saj je zaradi majhnih presežkov odpadne vode prihranila stroške. Vlagatelji so prejeli 3,3 milijona USD obresti kot dobiček iz posojila.

Študija primera: obveznice z učinkom agencije DC Water

Preglednica 5.2: Študija primera agencije DC Water o obveznicah z učinkom (vir: Goldman Sachs, 2021)

Instrument financiranja	Obveznice z okoljskim učinkom (kombinirano financiranje) 25 milijonov USD 30-letnih neobdavčenih občinskih obveznic z začetno kuponsko obrestno mero 3,43
Vlagatelji	Plačnik učinka: DC Water Vnaprejšnji vlagatelji: Goldman Sachs, Calvert Foundation
Kako deluje?	Leta 2016 so bile v prodaji zaprtemu krogu vlagateljev skupini Goldman Sachs Urban Investment Group in družbi Calvert Impact Capital prodane neobdavčene obveznice z okoljskim učinkom (EIB), ovrednotene na 25 milijonov USD. Prihodki od obveznic EIB so zagotovili začetni kapital, potreben za izgradnjo prvega projekta zelene infrastrukture v okviru projekta DC Clean Rivers Project – programa v vrednosti 2,8 milijarde USD za nadzor odtoka meteornih voda in izboljšanje kakovosti vode v okrožju. Ureditve zelene infrastrukture, ki obsega površino 10 ha, je zasnovana z namenom posnemanja naravnih procesov za absorbiranje in upočasnitev tokov meteorne vode med nalivi, kar zmanjšuje pogostost poplavljanja in količine meteornih voda, ki onesnažujejo vodotoke v okrožju. Agencija DC Water je marca 2019 objavila, da je obveznica EIB uspešna in da je bilo posojilo za obveznice EIB v celoti odplačano po tem, ko je zanesljiva ocena rezultatov projekta potrdila učinkovitost zelene infrastrukture v okrožju. Posledično je projekt izpolnil cilje iz leta 2016 in za skoraj 20 odstotkov zmanjšal odtok v reko Rock Creek. Ob tem je agencija DC Water izvedla natančno tristopenjsko oceno učinkovitosti zelene infrastrukture pri upravljanju odtoka meteornih voda.

5.1.2 Financerji

Najpogostejši način financiranja na naravi temelječih rešitev v urbanih okoljih ostaja neposredno financiranje iz lokalnih ali državnih organov na okrožni, mestni, državni ali zvezni ravni. Z naraščanjem obsega na naravi temelječih rešitev ter ozaveščenosti in potrebe po njihovih koristih so se pojavili tudi drugi vlagatelji. To pa je pomembno zlasti pri izvajanju vertikalnih ozelenitev, saj je večina potencialnih stavb pogosto v zasebni lasti.

Pri izvajanju na naravi temelječih rešitev je mogoče obravnavati vsaj naslednje skupine vlagateljev:

Preglednica 5.3: Financerji na naravi temelječih rešitev

Financerji in vlagatelji	Kratki opis
Okrožja/lokalna uprava	Financiranje na ravni občin, navadno z nepovratnimi sredstvi ali neposrednimi prispevki.
Državna uprava	Financiranje na ravni države, navadno v obliki nepovratnih sredstev ali neposrednih prispevkov.
Neprofitni	Človekoljubne in dobrodelne fundacije; financiranje se pogosto izvaja v obliki nepovratnih sredstev.
Veliki vlagatelji/ komercialni vlagatelji	Veliki vlagatelji so zasebni vlagatelji (npr. pokojninski skladi), ki vlagajo v izvajanje NTR v pričakovanju pozitivnega finančnega donosa. V zadnjih letih se razvija dinamika v zvezi z »zelenim« tveganjem, in sicer se izvaja t. i. ocena učinka. Velike vlagatelje zanimajo le velike kapitalske naložbe v vrednosti nad 10 milijonov.
Majhni vlagatelji	Majhni vlagatelji so fizične osebe, na primer državljani, ki želijo vlagati na lokalnem območju. Majhni vlagatelji pričakujejo pozitivni finančni in socialni donos oziroma učinek.
Socialni vlagatelji	Socialni vlagatelji v NTR velikega ali majhnega obsega pričakujejo pozitivni finančni in/ali socialni donos.

Financerji glede na svoje interese vlagajo v poslovne modele, ki so značilni zanje. Zato je treba financerje in zlasti povezane poslovne modele vedno obravnavati kot celoto.

Preglednica 5.4: Poslovni modeli

Poslovni modeli	Opis	Običajni financerji
Zmanjšanje tveganja	Vnaprejšnje naložbe v urbane NTR se izvajajo za preventivno zmanjšanje visokih stroškov, ki se v prihodnosti pričakujejo zaradi skrajnih vremenskih pojavov, kot so mestni toplotni otoki ali poplave.	– Lokalni in državni organi oz. uprava Poslovni model je zanimiv za državne in lokalne organe, saj vlagajo v dolgoročne koristi NTR. Pozitiven učinek je zmanjšanje tveganja skrajnih vremenskih pojavov in s tem znižanje stroškov zaradi manjše škode. – Drugi vlagatelji: Zavarovalnice Zavarovalnice se zanimajo za vlaganja v na naravi temelječe rešitve, katerih prednost je zmanjševanje skrajnih vremenskih pojavov, ki povzročajo visoke stroške zaradi škodnih zahtevkov. To je še zlasti zanimivo za pozavarovalnike. – Človekoljubne/dobrodelne organizacije in socialni vlagatelji Človekoljubne organizacije in socialni vlagatelji so pri tem poslovnem modelu bolj pripravljeni vlagati v pozitivne učinke NTR; obstaja namreč možnost finančnega donosa, na primer z zmanjšanjem stroškov poplav (glejte obveznice z okoljskim učinkom agencije DC Water).
Povečanje vrednosti nepremičnin	Vključevanje NTR v gradnjo nepremičnin v mestih zagotavlja prednosti, kot sta povečanje kakovosti življenja v prostoru in posledično zvišanje vrednosti nepremičnine. Stroški ustvarjanja in vzdrževanja NTR so vključeni v poslovni model ter jih bosta pokrili vrednost nepremičnine in gospodarska rast.	– Lokalni organi in nepremičninski investitorji (npr. stanovanjska združenja) Vlagatelji v novogradnje bodo najverjetneje financirali ta model. Spodbude vključujejo višje vrednosti nepremičnin, potencialno nižje stroške vzdrževanja/obratovanja (npr. nižje stroške ogrevanja/hlajenja za zelene strehe in fasade) in pozitivno javno podobo. – Komercialni vlagatelji Če obstaja pozitiven finančni donos (npr. naraščajoče cene nepremičnin ali zanesljivi prihodki od dolgoročnega oddajanja v najem, na primer pri BID), bo to spodbudilo komercialne vlagatelje, naj vlagajo v zeleno infrastrukturo.
Model čistega dobička	Pri večini gradenj nepremičnin in infrastrukture prihaja do izgube zelenih površin. To omogoča spodbude za pospeševanje kompenzacijskih naložb v urbane NTR. Obstajajo tudi finančni modeli v obliki pogodb o urbanističnem načrtovanju na podlagi javno-zasebnih partnerstev z zasebnimi nepremičninskimi investitorji, ki lahko gradijo večje gostote, vendar morajo zagotoviti ustrezne zelene površine.	– Komercialni in drugi vlagatelji Ta poslovni model pogosto razvijajo in/ali uporabljajo za načrtovanje na lokalni ravni, za ohranjanje in razvoj zelene infrastrukture na urbanih območjih. Posledično so vlagatelji običajno nepremičninski investitorji. Najnovejši in prepoznaven primer je Biotope City na Dunaju (https://biotope-city.net/).

Poslovni modeli	Opis	Običajni financerji
Izboljšanje lokalnega okolja/soseske	Prebivalci cenijo lokalne projekte NTR in so pripravljene podpirati naravo v svoji soseski, ker imajo od tega neposredne koristi, na primer za pridelavo hrane v skupnosti ali za proizvodnjo energije itd.	– Lokalni organi, človekoljubne organizacije/socialni vlagatelji in prebivalci To je lokalno usmerjen poslovni model, ki ga financirajo organizacije, povezane z lokalnim okoljem: lokalni organi/okrožja, fundacije in prebivalci (z množičnim financiranjem). Trenutno ni verjetno, da bi prišlo do priliva prihodkov za ustvarjanje vrednosti, zato je vprašljivo, ali bodo socialni oziroma komercialni vlagatelji financirali ta poslovni model.
Zdravstveni model	Terapevtska in zdravstvena vrednost NTR sta prepoznani in se uporabljata kot gonilo za financiranje takšnih rešitev.	– Centralni in lokalni organi Financerji, ki so na splošno odgovorni za zdravstvene izdatke ter imajo spodbude za izboljšanje zdravja in dobrega počutja prebivalstva ter zmanjšanje prihodnjih zdravstvenih izdatkov, bodo najverjetneje zainteresirani za financiranje NTR. To so oddelki za (javno) zdravje na državni in lokalni ravni, vključno z javnimi zdravstvenimi službami. – Človekoljubne/dobrodelne organizacije in socialni vlagatelji Organizacije in vlagatelji, katerih poslanstvo je izboljšati zdravje in dobro počutje, bodo cenili koristi za zdravje, zato bodo financirali NTR, pomembne z vidika zdravja. Socialni vlagatelji potrebujejo tok prihodkov ali prihranke v nadenarni obliki, da lahko odplačajo vloženi kapital.

5.1.3 Vrste financiranja

Poznamo različne vrste financiranja na naravi temelječih rešitev, te so lahko vračljive (npr. naložbe, kot so dolžniško ali lastniško financiranje, in plačila, ki zagotavljajo vnaprejšnjo podporo na naravi temelječih rešitev) ali nevračljive (npr. nepovratna sredstva). Pri vračljivih vrstah financiranja morajo biti prihodki ustvarjeni iz poslovnega modela, vključno z nevračljivimi viri financiranja, da se vračljiva sredstva tako vrnejo vlagatelju.

Opredeliti je mogoče tri glavne vrste financiranja. Uporabiti jih je mogoče samostojno in v kombinaciji za ustvarjanje mehanizmov financiranja na naravi temelječih rešitev (npr. posojil, množičnega financiranja, nepovratnih sredstev, modelov zaslužka in javno-zasebnih partnerstev).

Preglednica 5.5: Vrste financiranja na naravi temelječih rešitev

Vrsta financiranja	Vračljivo	Opis
Neposredno financiranje/ nepovratna sredstva	NE	Vlagatelji neposredno plačajo za NTR ali upravičencu izplačajo nepovratna sredstva za neposredno vlaganje v take rešitve. Tovrstno financiranje vključuje javne subvencije, tj. javna sredstva za kritje stroškov.
Dolžniški kapital/krediti	DA	Donatorji posodijo kapital (vnaprejšnja sredstva) za plačilo NTR, prejemnik pa v določenem časovnem obdobju odplačuje posojilo z obrestmi.
Lastniški kapital	DA	Donatorji vložijo sredstva v zameno za lastniški delež. Odplačilo donatorjem je odvisno od vrednosti NTR.

Tri vrste financiranja, navedene v zgornji preglednici, so del komercialnega spektra, ki razlikuje med vračljivim in nevračljivim financiranjem ter dokazuje, da obstaja financiranje znotraj obsega pričakovanih donosov. Pri komercialnem financiranju se navadno pričakuje donos v skladu s tržiščem, ki se ustrezno povečuje z večjim tveganjem poplačila kapitala za vlagatelja. Stopnja tveganja je odvisna od poslovnega modela posameznega financiranja in verjetnosti poplačila. Danes je najpogostejši poslovni model za komercialno financiranje povečanje vrednosti nepremičnin. Dolžniško in lastniško financiranje sta glavni vrsti tradicionalnega financiranja. Neposredno financiranje/nepovratna sredstva so primer ugodnega financiranja, pri katerem se navadno pričakuje izredno nizka oziroma nižja finančna stopnja donosa od tržne stopnje. Dolžniško financiranje se lahko ponuja tudi kot financiranje pod ugodnimi pogoji – na primer posojilo za socialne naložbe za prilagajanje podnebnim spremembam, pri katerem je ponujena obrestna mera nižja zaradi pričakovanih pozitivnih učinkov na naravi temelječih rešitev. Projekti pogosto zahtevajo različne vrste financiranja, odvisno od njihovega finančnega profila. Projekti, ki ne morejo doseči finančnega donosa, potrebujejo nevračljivo financiranje. Projekti, ki ustvarjajo določeno mero donosa, vendar ne dovolj za kritje stroškov, potrebujejo podporo pod ugodnimi pogoji. Tak mešan pristop ponujata posojilo in nepovratna sredstva. Pri projektih z velikim družbenim učinkom, ki dosegajo določen finančni donos, vendar ne morejo doseči tržnih donosov dolžniškega ali lastniškega financiranja, se lahko vključijo socialni vlagatelji ali vračljive javne naložbe. Pri projektih, ki zagotavljajo donos komercialnih naložb, je mogoče dostopati do vlagateljev na rednem trgu oziroma za financiranje poiskati socialne ali državne vlagatelje.

Različni vlagatelji so pripravljeni financirati na naravi temelječe rešitve z enim ali več neposrednih financiranj/nepovratnih sredstev, dolžniškim ali lastniškim financiranjem. Način, kako je denar vlagatelj izplačan, je odvisen ne le od finančnega donosa, temveč tudi od ciljev financerja. Socialni vlagatelji lahko ponudijo nižje obrestne mere, vendar morajo doseči denarni donos sredstev, ki jih uporabijo za na naravi temelječe rešitve, in zato potrebujejo vrste financiranja, ki ustvarjajo prihodke, na primer dolžniško ali lastniško financiranje.

5.1.4 Mehanizmi financiranja

V naslednjem razdelku so povzeti ter s primeri ponazorjeni različni mehanizmi in instrumenti financiranja NTR.

Združevanje različnih proračunov

Lokalne ravni uprave pogosto krijejo stroške za projekte na naravi temelječih rešitev na odprtih javnih prostorih, vendar okoljski proračuni večinoma ne zadoščajo za izvedbo. Združevanje sredstev z različnih področij oziroma ministrstev je lahko v takih primerih ustrezna rešitev. Vključujejo lahko:

- proračun za javno zdravstvo,
- proračun za javno varnost,
- proračun za izobraževanje,
- decentralizirani proračun.

Ugoden učinek NTR na zdravje prebivalcev (npr. zmanjšanje mestnih toplotnih otokov in posledično zmanjšanje čezmerne umrljivosti zaradi toplotne obremenitve) je vse bolj raziskan, zato je mogoče upravičiti več sredstev iz proračuna za javno zdravstvo. Poleg tega vse več študij dokazuje vpliv dobro zasnovane in vzdrževane zelene infrastrukture na zmanjšanje kriminala v mestih. Zato je mogoče pridobiti sredstva tudi iz proračunov za javno varnost/policijo. Posegi, vezani na določeno lokacijo ali skupino, na primer šole in učence, imajo veliko možnost, da bodo del financiranja prejeli iz proračuna za izobraževanje. Za učinkovito združevanje različnih proračunov je mogoče za določene sektorje preveriti, ali obstajajo potencialne neposredne ali posredne koristi na naravi temelječih rešitev, in zagotoviti finančna sredstva v različnih oblikah.

Zeleni dolg

- **Posojila:** od zasebnih ali javnih finančnih institucij ali iz državne blagajne.
- **Financiranje pod ugodnimi pogoji** (ugodna posojila): namenska posojila z ugodno obrestno mero (nižjo od tržne obrestne mere), dolgo odplačilno dobo in obdobjem odloga plačila.
- **Zelene obveznice:** instrument za zbiranje kapitala prek dolžniškega kapitala z zavezanostjo okolju prijaznim projektom. Upniki dolžniku posodijo fiksni znesek kapitala. Ko je v določenem časovnem obdobju dosežena dospelost obveznice, se kapital in dogovorjen znesek obresti plačata upnikom. Vlagatelji v zelene obveznice so običajno komercialni in socialni vlagatelji.
- **Množično vlaganje** se uporablja za zbiranje dolžniškega kapitala po fiksni stopnji donosa, enaki tržnim cenam ali nižji.
- **Finančni mehanizem za naravni kapital** (NCFF): finančni mehanizem, ki ga spodbujata Evropska komisija in Evropska investicijska banka za financiranje projektov na področju naravnega kapitala.

Zeleni lastniški kapital

- **Lastniško financiranje:** kapital iz javnega ali zasebnega financiranja, tudi prek množičnega financiranja.

Nepovratna sredstva in donacije

- **Evropski strukturni in investicijski skladi (ESIF):** nepovratna sredstva iz EU prek kohezijskih skladov in Evropskega sklada za regionalni razvoj.
- **Finančni instrument EU za okolje (LIFE):** sofinanciranje okoljskih projektov, prilagajanje podnebnim spremembam in blaženje učinkov podnebnih sprememb.
- **Obzorje Evropa:** okvirni program EU za raziskave in inovacije podpira projekte na naravi temelječih rešitev, ki vključujejo te elemente.
- **Človekoljubni prispevki:** vključujejo dobrodelne organizacije, zasebne in javne fundacije, državljane, zasebne financerje itd. So nepredvidljivi, a dragoceni viri financiranja. Donacije so na splošno vezane na lokacijo.
- **Množično financiranje:** Udeleženci vložijo določen znesek v projekt. Ker je ta oblika financiranja nepredvidljiv vir, saj kampanj množičnega financiranja ni mogoče načrtovati vnaprej za zagotavljanje obveznosti financiranja, bodo morda potrebni dodatni viri financiranja za projekt.

Instrumenti, ki ustvarjajo prihodek

Tukaj so navedeni mehanizmi, ki se nanašajo na ustvarjanje prihodkov od projektov. To zagotavlja priložnost za dolgoročno financiranje za vzdrževanje, izboljšanje in razvoj na naravi temelječih rešitev.

- **Prodaje/zakupi zemljišč:** kapital je mogoče ustvariti iz prodaje zemljišč in zakupov zemljišč v državni lasti.
- **Davki:** davki na lokalni ravni ali prerazporejeni davki z drugih ravni so lahko vir prihodkov, ki jih je mogoče vlagati v na naravi temelječe rešitve.
- **Prenos davkov:** prerazporeditev davčnih prihodkov na ravni države za okoljske kazalnike.
- **Uporabnine:** prihodki od vstopnin, uporabnin za dejavnosti na športnih igriščih ali najemnine za dogodke lahko ustvarjajo prihodke za vzdrževanje zelenih površin.
- **Prispevki prebivalcev:** enkratna pristojbina, ki jo mora nepremičninski investitor plačati za pridobitev dovoljenja za nepremičninski projekt.
- **Dajatve za izboljšanje:** oblika davka ali pristojbine, zaračunane za zemljišče, katerega vrednost se je povečala zaradi naložbe v javno infrastrukturo.
- **Prostovoljni prispevki upravičencev:** fizične osebe, ki imajo koristi od gradnje javnih prostorov, plačajo dogovorjen znesek za kritje nekaterih stroškov projekta.
- **Sredstva, kombinirana z zahtevami glede izravnave/nadomestil:** Za gradbene projekte, ki negativno vplivajo na naravo, so zahtevane pristojbine za izravnavo (izravnalni ukrepi). Te pristojbine se lahko uporabljajo za projekte, katerih cilj je izboljšati naravno okolje.

Tržni instrumenti

Instrumenti, ki so spodbudni za zasebne stranke.

- **Znižanje uporabnin:** uporabnine za sivo infrastrukturo (pristojbine za čiščenje odpadkov) se znižajo, če se izvedejo okolju prijazne alternative npr. (trajnostni drenažni sistemi). Lahko pa znižajo pristojbine za nepremičninske investitorje, če vključijo na naravi temelječe rešitve.
- **Davčne olajšave** za izvedbo na naravi temelječih rešitev.
- **Subvencije:** Vlada lahko zagotovi subvencije za kritje (dela) stroškov izvedbe na naravi temelječih rešitev na zasebni lastnini.
- **Davčne ugodnosti:** davčne ugodnosti zagotavljajo spodbude za fizične osebe za upravljanje zelenih površin.
- **Plačila nadomestil:** predpisi za plačilo nadomestil za gradnje, ki škodujejo naravi.
- **Plačila za ekosistemske storitve:** plačila zainteresiranih strank lastniku zemljišča za ekosistemske storitve.

Obnovljivi skladi

Investicijski skladi, pri katerih prihodki od prejšnjih naložb zagotavljajo obnovljivi pretok kapitala za dopolnitev sklada in financiranje nadaljnjih projektov. Lahko se vzpostavijo na različnih ravneh ter se uporabljajo za financiranje vrzeli in spodbujanje razvoja. Ta instrument je lahko še zlasti zanimiv za naložbe majhnega obsega na lokalni ravni, ki imajo v ozadju poslovni model (npr. upravljanje deževnice ali proizvodnja hrane).

Javno-zasebna partnerstva

Javno-zasebno partnerstvo je pogodbeno sodelovanje med podjetji iz javnega in zasebnega sektorja. Zasebne stranke se zavežejo, da bodo dolgoročno zagotavljale javna sredstva ali storitve, ter so odgovorne za upravljanje in tveganja.

- **Obveznice z družbenim ali okoljskim učinkom:** nanašajo se na pogodbo, ki temelji na rezultatih. Zasebne naložbe se uporabijo za vnaprejšnje financiranje na naravi temelječih rešitev; javni subjekti pa jih poplačajo, ko so doseženi vnaprej določeni rezultati. Če načrtovani rezultati niso doseženi, ni treba poplačati celotnega zneska, zato za vlagatelje obstaja delitev tveganj. Ta vidik se je do zdaj uporabljal zlasti v socialnem sektorju.
- **Območja izboljššanega poslovanja:** podjetja na določenem območju se združijo in vzpostavijo svoj upravljavski organ, ki odloča o financiranju izboljšav in z različnimi instrumenti ustvarja prihodke.

5.2 Modeli financiranja za projekt Vertical Green 2.0

Vertikalne ozelenitve so deležne vse večje pozornosti zaradi prisotnosti v medijih, predvsem zaradi učinkov podnebnih sprememb. Tovrstna ozelenitev stavb je mlado področje, ki se – za razliko od ozelenitev streh – v Evropi še ni dobro uveljavilo. To pomeni, da to tržišče še ni zasičeno ter so nekatere tržne niše še vedno odprte za nove, inovativne zamisli o sistemih in modelih. Ponudniki živih sten zaradi visokih cen naslavlajo zlasti nepremičninske investitorje javnih in poljavnih projektov. Ponudba za te segmente strank je raznovrstna. Po drugi strani je prodajni trg za zasebne stranke obvladljiv in omogoča velik potencial, ki ga je mogoče pridobiti v prihodnosti. Za izboljšanje izvajanja trajnostnih projektov zelene infrastrukture v mestu morajo biti vertikalne ozelenitve cenovno dostopne z vidika izvedbe in tudi vzdrževanja. Največji izziv je ozaveščenost prebivalcev mesta o prednostih vertikalnih ozelenitev (zelenih sten). Zasebni vlagatelji še niso pripravljeni vlagati v vertikalne ozelenitve, ker ne poznajo dodane vrednosti.

Ena od možnih dodanih vrednosti vertikalnih ozelenitev je urbano kmetijstvo – koncept, namenjen zlasti proizvodnji hrane na urbanih območjih za lastno upora-

bo prebivalcev. To zamisel je mogoče preprosto in praktično izvesti na vertikalnih ozelenitvah, saj pomanjkanje prostora v mestih pomeni, da je mogoče ustvariti nova območja za proizvodnjo hrane. Za ta trend so posebej primerni sistemi z rastlinami, ki izraščajo iz tal, in sistemi z uporabo sadilnih posod. Prodajno tržišče za to obliko samooskrbnega kmetovanja še ni pokrito in omogoča nove priložnosti za podjetja, ki se lahko razlikujejo od drugih ponudnikov.

5.2.1 Poslovni modeli za vertikalne ozelenitve (D2.2)

Vertikalne ozelenitve zahtevajo tesno sodelovanje med državnimi in mestnimi oblastmi, podjetji, vlagatelji, prebivalci in drugimi pomembnimi interesnimi skupinami (Bocken idr., 2014). Hkrati se v znanstveni skupnosti ter tudi v postopkih načrtovanja in sprejemanja odločitev vse bolj obravnavajo družbene, gospodarske in ekološke prednosti izvajanja vertikalnih ozelenitev na mestnih območjih. Še vedno pa obstaja vrzel med potencialom za izvajanje vertikalnih ozelenitev, njihovimi prednostmi in trenutno sprejetostjo. Za splošno priznavanje poslovnega uspeha lahko kot ključni element obravnavamo poslovne modele, na podlagi katerih lahko oblikujemo argumente za premostitev vrzeli med pomembnostjo vertikalnih ozelenitev in njihovim sprejemanjem. V intervjujih z različnimi ponudniki vertikalnih ozelenitev lahko primerjamo poslovne modele in tako opredelimo vrednost, ki jo vertikalne ozelenitve ustvarjajo.

Potrebni so novi inovativni poslovni modeli – tržni instrumenti, usmerjeni k učinkom (namesto samo dobičkonosno naravnanih tržnih instrumentov), na podlagi dodatnih koristi vertikalnih ozelenitev. Ne glede na splošni opis tržišča na naravi temelječih rešitev ima večji del tržišča vertikalnih ozelenitev posebne značilnosti, saj so številni lastniki (vertikalnih površin) stavb zasebni lastniki, in sicer posamezni lastniki ali nepremičninska združenja. Prav zato tržni instrumenti pogosto niso ustrezni, saj lastniki posameznih nepremičnin pogosto težko dosežejo stopnje dobička. Stroški vertikalnih ozelenitev se pogosto zdijo višji od potencialnega denarnega toka. To velja tudi za potencialni učinek, ki ga ena nepremičnina lahko doseže. Izboljšana toplotna učinkovitost, pomembni prispevki k upravljanju deževnice ali uporaba sive vode so izvedljivi na ravni mesta ali območja. Kjer pa obstajajo možnosti konfliktov zaradi raznolikega in različnega lastništva, so potrebne nove oblike sorazvoja, sofinanciranja in soupravljanja med zasebnimi lastniki, lokalno skupnostjo, deležniki in mestno občino.

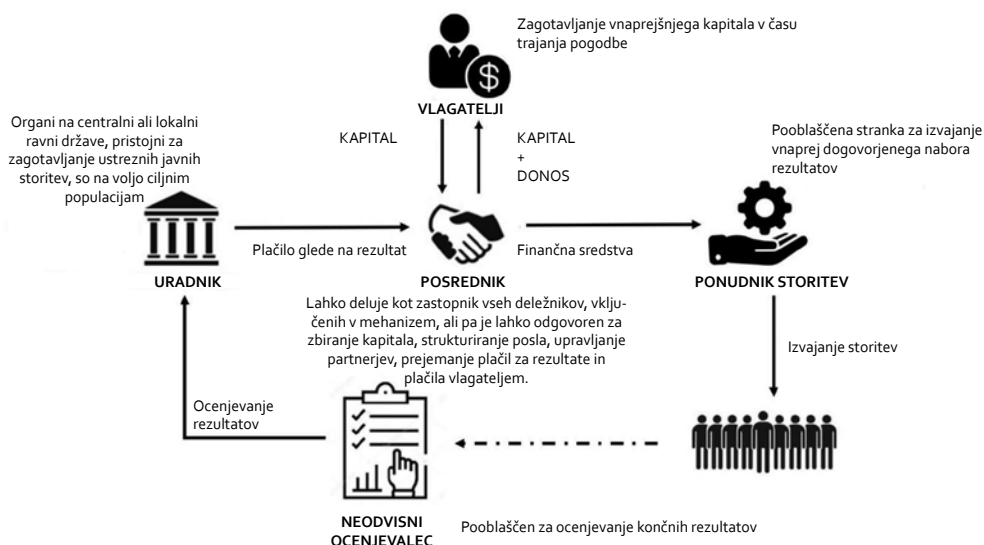
V primeru, ko so na naravi temelječe rešitve povezane s stavbo (tj. zelene strehe ali pridelava hrane, vezana na stavbe), poteka odločanje o naložbah predvsem na decentralizirani ravni, pri čemer lastnik stavbe ali podjetnik izvaja določene nalož-

be. Ena strategija za spodbujanje vnaprejšnjih naložb na ravni potrošnikov uporablja tristranski model, po katerem se stroški in koristi enakomerno porazdelijo med prebivalce, državo in podjetja/nepremičninske investitorje. Jasno obveščanje družbe in posameznih vključenih strank (v projektu) o koristih lahko spodbudi uvedbo NTR, kot so vertikalne ozelenitve. V nekaterih študijah so bili izračunani pričakovani denarni tokovi (neto sedanja vrednost) iz naložb v zelene fasade, prav tako pa je bilo ugotovljeno, da so lahko spodbude, kot so občinske subvencije, potencialno zelo uspešne pri povečevanju donosov naložb v zelene fasade, kar lahko povzroči izvedbo zelenih streh v večjem obsegu. Zasebne koristi same po sebi ne pomenijo, da bodo zelene strehe dovolj privlačna naložba (s pozitivno neto sedanjo vrednostjo), zato lahko javne subvencije (npr. v Flandriji ali Rotterdamu) ali davčne olajšave za meteorno vodo (v nekaterih regijah v Nemčiji) spodbudijo zasebne naložbe v zelene stene. Druga možnost bi bila, da se namesto instrumentov, ki temeljijo izključno na dobičku, uporabijo instrumenti, usmerjeni k učinkom, na primer obveznice z učinkom, ter ustvari sodelovalni model odplačila, usmerjenega k učinkom, ki omogoča javno-zasebno sofinanciranje v širšem obsegu. V ZDA ali Združenem kraljestvu taki instrumenti že obstajajo. V celinski Evropi instrumenti, usmerjeni k učinkom, še niso zares vzpostavljeni zaradi pravnih neskladnosti.

Obveznice z okoljskim učinkom

Obveznice z učinkom so nova oblika financiranja projektov, povezana z učinki, zato se bistveno razlikuje od klasičnih finančnih instrumentov, s katerimi se trguje na kapitalskem trgu. To je razmeroma zapletena oblika pogodbe med zasebnimi strankami in javnim sektorjem, ki se pogosto uporablja zlasti v Združenem kraljestvu in ZDA. Obveznice z učinkom (IB) so finančne rešitve, skladne z izvajanjem ciljev OZN za trajnostni razvoj, njihov namen pa je pozitivno vplivati na okolje ali družbo. Obveznice z učinkom so razdeljene na družbeno in okoljsko področje. Obveznice z družbenim učinkom (angl. *social impact bonds*, SIB) se med drugim nanašajo na družbeno trajnost, zdravje in izobraževanje, obveznice z okoljskim učinkom (angl. *environmental impact bonds*, EIB) pa se osredotočajo na trajnostno energijo, čisto vodo, okolje in podnebne spremembe. Skupaj se imenujejo obveznice z učinkom (angl. *impact bonds*, IB) (Environmental Finance, 2020).

Kljub nekoliko zavajajočemu imenu obveznice z učinkom niso tradicionalne obveznice, s katerimi se trguje na kapitalskih trgih, temveč pogodbe med več strankami, ki z instrumenti, ki temeljijo na rezultatih, financirajo zelene ali socialne programe. (Zasebni) vlagatelji za projekte zagotovijo vnaprejšnji kapital (vnaprejšnjo naložbo), da preizkusijo nov pristop, katerega uspeh se zdi negotov, ali da razširijo rešitev, preizkušeno v pilotnem programu. Za razliko od najbolj tradicionalnih nalož-



Slika 5.17: Princip delovanja obveznic z okoljskim učinkom (Vir: Carè idr., 2020)

benih instrumentov donos, ki ga je mogoče doseči, ni odvisen od dobička, temveč od učinka (t. i. model plačila za uspeh). Plačilo za uspeh (angl. *pay-for-success*) je inovativno ter k rezultatom usmerjeno financiranje, ki neposredno in izmerljivo izboljša družbene ali trajnostne probleme. Uporabljajo se tri osnovna načela:

- jasno opredeljeni rezultati,
- odločanje na podlagi podatkov,
- plačilo na podlagi rezultatov.

Osnova za obveznice z učinkom je dogovor o želenem učinku ali uspehu projekta (dogovor o plačilu za uspeh). Po navadi želi javni sektor doseči rezultate za skupnosti ter poveže zasebne organizacije in (zasebne) vlagatelje. Javni sektor vnaprej pogodbeno določi ciljno skupino, cilj, ključne kazalnike uspešnosti in finančni okvir projekta obveznic z učinkom. Dobrodelne fundacije, (zasebni) vlagatelji in/ali skupine vlagateljev nato prevzamejo financiranje projekta. Če so med potekom projekta obveznic z učinkom vsa ciljna merila izpolnjena in je tako dosežen dogovorjeni učinek, javni sektor plača stroške projekta in, če je to ustrezno, dodatno premijo za doseganje cilja (npr. obresti ali fiksno premijo). Doseganje cilja se preveri z zunanjim, neodvisnim ocenjevanjem (npr. z revizorjem). Če cilj ni dosežen, javni sektor po navadi ne povrne stroškov projekta.

Prednosti

- Razvija se nov vir financiranja za stopnjevalno financiranje vertikalnih ozelelitev.
- Spodbuja se tesno medsektorsko sodelovanje med javnim sektorjem, podjetji in zasebnimi vlagatelji.
- Ustvarja se preglednost o tem, kateri pristop in programi imajo dokazljiv pozitivni učinek.
- Ustvarja se preglednost o uporabi davkoplačevalskega denarja.
- Tveganja se prenesejo z davkoplačevalcev na vlagatelje: preizkušajo se preventivni ukrepi in novi projektni pristopi k obstoječim problemom brez uporabe javnih sredstev, če ni nobenega dokaza o njihovi učinkovitosti.
- Potencialno se izvaja večje število zelenih/socialnih projektov, saj javni sektor ne nosi celotnega tveganja neuspeha projekta.
- Obstaja možnost izvajanja »bolj tveganih« projektov na podlagi delitve tveganj.
- Ponudniki zelenih/socialnih storitev prejmejo zagotovljeno dolgoročno financiranje, ki jim omogoča veliko prilagodljivost pri izvajanju projekta.
- »Prihranki«: družbeni in gospodarski stroški zelenih/družbenih problemov so višji od stroškov projekta obveznic z učinkom.
- Vlagatelji lahko uporabijo sredstva, da ustvarijo pozitivni prispevek in v zameno prejmejo tveganju prilagojen donos; če je projekt uspešen, lahko kapital potencialno uporabijo večkrat tako, da sodelujejo pri nadaljnjih obveznicah z učinkom.
- Ciljna skupina/osnovni problem ima koristi od prilagojene rešitve ne glede na doseganje cilja v času trajanja.

Slabosti

- Odvisno od načrta lahko zasebni vlagatelji izgubijo naložbo.
- Priprava povzroča stroške in zahteva veliko časa.
- Potrebna je veliko strokovnega znanja.
- Obstaja tveganje pomanjkljivosti delovanja pri zasebni organizaciji ali ocenjevalcu.
- Obstajajo politična tveganja, na primer sprememba politične večine ali zamrznitev porabe v zadevnem javnem sektorju.
- Uporabljajo se nezadostni kazalniki ali pa je obdobje ocenjevanja prekratko za dokaze o učinku.
- Vlagatelji lahko zahtevajo izčrpno poročanje in/ali zaveze, kar pomeni več dela za ponudnika storitev in lahko negativno vpliva na doseganje ciljev.
- Obstaja tveganje za ugled.

Potrebne dodatne inovacije – primer uporabe obveznic z učinkom

Z obveznicami z učinkom se trguje kot z obetavno možnostjo za učinkovito izvajanje podnebnih ukrepov z razmeroma visokim finančnim vzvodom za povezovanje zasebnega in javnega kapitala (Clever Cities, 2021) v mednarodnem kontekstu, zlasti kar zadeva financiranje vertikalnih ozelenitev in drugih ukrepov na naravi temelječih rešitev, vendar le pod pogojem, da celovito izvajanje takih rešitev prinaša temu primerno obsežno zmanjšanje stroškov. To velja zlasti na področju upravljanja deževnice v ustreznem obsegu. Manjši posamezni projekti, kot so posamezne vertikalne ozelenitve, se še ne štejejo kot možna rešitev, saj trenutno ni mogoče izračunati konkretnega zmanjšanja (oportunitetnih) stroškov za javni sektor. Izvajanje zelene infrastrukture torej povzroča stroške in zmanjšuje priliv prihodkov. Kompleksnost instrumenta ter dodatni administrativni in organizacijski stroški tako ne pripomorejo k uporabi ukrepov za prilagajanje podnebnim spremembam, ko gre za izvajanje vertikalnih ozelenitev na obstoječih posameznih stavbah. Poleg tega se taki posamezni projekti štejejo za premajhne, da bi bila kompleksnost instrumenta smiselna.

Širitev tržišča bi lahko dosegli z vključevanjem različnih področij ukrepanja, povezanih s povečevanjem odpornosti na podnebne spremembe, skozi ciljne dogovore (konkretno mobilnost in energija). Obstaja tudi možnost dodatnega financiranja izvedbe vertikalnih ozelenitev na zasebnih stavbah v bližini javnega prostora. Povezanost instrumenta obveznic z učinkom z lokalnim projektom predvidoma spodbuja tudi lastništvo pri lokalnih deležnikih. Znotraj okvira poslovnega modela na naravi temelječih rešitev je mogoče oblikovati ugotovitve o smiselnosti in praktičnosti povezovanja področij ukrepanja.

Opredelitev modelov vračila denarja (angl. *cash-back*), če so v okviru instrumenta različna področja ukrepanja (in v smislu procesa) medsebojno povezana na prostorski ravni, je mogoče povezati področja ukrepanja, ki ustvarjajo denarni tok (npr. energetske sektor), in tista, ki ne ustvarjajo denarnega toka (npr. vertikalne ozelenitve). Tako lahko na primer prenova hiš ali namestitvev fotonapetostnih sistemov in posledično zmanjšanje porabe CO₂ sprožita plačila nadomestil iz prostovoljnih trgov ogljika; preoblikovanje odprtega javnega prostora lahko ustvari nova delovna mesta, ki prinesejo davčne prihodke. Zmanjšanje stroškov (npr. nižja plačila za energijo) ali prihodki (plačila nadomestil) se lahko uporabijo za financiranje proizvodnih stroškov vertikalnih ozelenitev. Področje obveznic z učinkom je pomembno, saj povezuje vse instrumente in finančne tokove s skupnim ciljem učinkov (opredeljeni ključni kazalniki uspešnosti) v okviru enega instrumenta. To lahko zagotovi učinkovitost in identiteto. Na lokalni ravni so za to potrebne organizacijske in procesne inovacije.

5.2.2 Predlog soustvarjalnega poslovnega modela – obveznice z okoljskim učinkom za financiranje vertikalnih ozelenitev v ustreznem obsegu (D2.3)

Za razvoj inovativnega poslovnega modela – sodelovalnega poslovnega modela smo opravili pregled potreb in motivacij deležnikov. Ker je ta model usmerjen v sodelovanje, so vsi deležniki vključeni v načrtovanje, izvajanje, izdelavo, izvedbo in vzdrževanje vertikalnih ozelenitev. Nepremičninski investitor se odloči, da bo sodeloval v projektu in izvedel ozelenitev fasade. Najprej se obrne na svetovalno in pristojno organizacijo, ki posreduje med ponudniki in strankami. Občina, v kateri bodo izvedene vertikalne ozelenitve, ima interes in je vključena v financiranje. Ker je mogoče opredeliti, da se bo območje zaradi ukrepov ozelenitve ohladilo za osem stopinj, se zagotovi proračun za doseganje tega cilja. Sredstva se da pridobiti tudi z množičnim financiranjem in zasebnimi naložbami, na primer prek fundacij. Ker so poleg začetnih stroškov za vertikalne ozelenitve visoki tudi stroški vzdrževanja, morajo prebivalci sodelovati pri vzdrževanju zelenih fasad v tem sodelovalnem projektu. Pri tem se nagovarja zlasti ranljive skupine (upokoјence, dolgotrajno brezposelne itd.), ki v zameno za vzdrževanje vertikalnih ozelenitev prejmejo določene koristi, na primer brezplačni javni prevoz.

Vrste tržišča

Tržišče vertikalnih ozelenitev je v urbanem kontekstu razmeroma novo. Ob upoštevanju trenutnih družbenih, političnih in individualnih potreb v urbanih realnostih ter jasnih političnih smernic za prihodnji urbanistični razvoj z vključevanjem na naravi temelječih rešitev v vseh evropskih mestih na vseh ravneh bo tržišče predvidoma doseglo eksponentno rast. To potrjujejo različne študije in politike. Poleg zelenega dogovora v strategiji za biotsko raznovrstnost Evropska komisija (2020) evropska mesta, ki imajo vsaj 20.000 prebivalcev, poziva, naj do konca leta 2021 pripravijo ambiciozne načrte ozelenitve mestnih okolij, da se v mesta vrne narava in nagradijo ukrepi skupnosti. Ti načrti bi morali vključevati ukrepe za vzpostavljanje biotske raznovrstnosti, mestnih kmetij in zelenih sten. Prispevati bi morali tudi k izboljšanju povezav med zelenimi površinami. Taki načrti bi lahko spodbudili orodja politike, regulatorna in finančna orodja.

Poleg tega so v prvih izdajah poročila o evropskih zelenih trgih (The european green roof and wall market research initiative; 2020) izpostavljeni ne le merljivi učinki na podnebne spremembe, temveč tudi velik potencial za spodbuditev gospodarstva. V Avstriji bo (glede na poročilo o evropskih zelenih trgih; Stadt der Zukunft, 2020) v naslednjih letih mogoče ustvariti 8.000 neposrednih in 25.000 posrednih delovnih mest. Z vidika politike bo izvajanje na naravi temelječih rešitev obvezno v urbanem

okolju, ki bo v bližnji prihodnosti potrebovalo ambiciozne ukrepe za prilagajanje podnebnim spremembam in blažitev njihovih učinkov (npr. pripravo urbanih zelenih načrtov za vsako mesto z več kot 20.000 prebivalci) ob uporabi politik in finančnih instrumentov. Hkrati trenutno še niso vzpostavljeni učinkoviti in hitri pristopi k strateškemu, celostnemu, učinkovitemu in soustvarjalnemu izvajanju na naravi temelječih rešitev na mestni ravni, kar vključuje tudi programe financiranja. Zato predlagamo celovito, sodelovalno, podjetniško in učinkovito rešitev, ki predpostavlja lastništvo in sodelovanje, nove modele financiranja ter ustvarjanje novih delovnih mest ob spodbujanju modelov soustvarjalnega upravljanja. Izvajanje na naravi temelječih rešitev ima potencial za učinkovito vključevanje prebivalcev, saj bodo prebivalci, ki jih ukrepi zadevajo, postali vključeni v rešitve ter bodo lahko v svojem lokalnem življenjskem prostoru osebno prispevali k blaženju učinkov podnebnih sprememb in prilagajanju nanje, hkrati pa za svojo angažiranost prejeli tudi plačilo ali določene koristi.

Za ponazoritev vrste tržišča in njegovega gospodarskega poslovnega potenciala bomo uporabili izhodišče poslovnega modela na naravi temelječih rešitev (angl. *NBS business model canvas*). Ta model je bil razvit (Connectingnature, 2020) za prikaz posebnih značilnosti tržišča na naravi temelječih rešitev in njegovih poslovnih potencialov, kar zlasti vključuje visoko raven vključenosti struktur upravljanja in potencial za znižanje stroškov za države z uporabo na naravi temelječih rešitev. Model se nekoliko razlikuje od splošnega izhodišča poslovnega modela, in sicer dodatno vključuje naslednji področji:

- Upravljanje je novo področje, vključeno v okvir poslovnega modela na naravi temelječih rešitev, ki odraža dejstvo, da je pomembno zgodaj opredeliti način upravljanja delovanja takih rešitev. NTR so pogosto zelo kompleksne ter vključujejo številne partnerje in upravičence. Pomembno je, da se v zgodnji fazi postopka načrtovanja preuči, kako bodo različni deležniki vključeni v tekoče upravljanje in poslovanje ter katere strukture upravljanja so potrebne, da se ta postopek olajša.
- Zmanjšanje stroškov je prav tako novo področje, vključeno v izhodišče poslovnega modela, ki odraža posebne značilnosti na naravi temelječih rešitev, ki včasih omogočajo različne načine za zmanjševanje neposrednih stroškov, na primer uporabo socialnih poslovnih modelov, uporabo permakulturnih načel za zmanjševanje stroškov, zmanjševanje količine odpadkov itd.

Preglednica 5.5: Izhodišče poslovnega modela za vertikalne ozelenitve (avtorica: Doris Schnepf)

Ključne dejavnosti	Ključni viri	Predlagana vrednost	Ključni partnerji	Ključni upravičenci
Standardiziran razvojni proces območij VG 2.0 (ključni kazalniki uspešnosti, okvir načrtovanja, simulacija (Greenpass) ter ocena okvirov načrtovanja, sistem stroškov in koristi za soustvarjalno izvajanje in vzdrževanje) Koncept mobilnosti in izvajanje mobilnosti za območje VG 2.0 (za ustvarjanje pogojev za na naravi temelječe rešitve in zmanjševanje prometa) Izvajanje (inovativnih) finančnih in poslovnih orodij Omogočanje programov za sodelovanje (vključno s spletnimi priročniki za domače mojstre) Organizacijska struktura in procesne inovacije	Izvajanje programov v mestih za izvajanje tehnik v zvezi s projektom VG 2.0 Tehnično svetovanje Ustvarjanje proračuna (javna in zasebna sredstva) Podpora in spremljanje tekočih procesov Javni (in zasebni) prostor za izvajanje na naravi temelječih rešitev v zvezi s projektom VG 2.0	Okoljska: da se na ravni soseske kar najboljše izkoristijo NTR v smislu vrste in količine, s posebnim poudarkom na zmanjšanju učinka mestnega toplotnega otoka, upravljanju deževnice in povečanju biotske raznovrstnosti Družbena: opolnomočenje civilne družbe, da bo na preprost in lokalni način osebno prispevala k prilagajanju urbanih okolij na podnebne spremembe in blaženju njihovih učinkov (zdravje) Gospodarska: ustvarjanje popolnoma novih delovnih mest z ukinjanjem prostovoljnega dela (večinoma na nizkokvalificiranih delovnih mestih) prek novih instrumentov financiranja in poslovnih modelov	Lokalna skupnost/prebivalci Mestna občina in nosilci odločanja Vlagatelji, nepremičninski investitorji Lokalna podjetja in načrtovalci Agencije za inovacije, ki spodbujajo ustvarjanje območja VG 2.0 Finančni partnerji	Enako kot ključni partnerji
Upravljanje				
Modeli soustvarjalnega upravljanja, ki temeljijo na družbeni odpornosti. Pri tem modelu se lokalne prebivalce podpira in spodbuja, da izvedejo svoje območje NTR, ob tem pa se zagotavlja podpora (novemu) lokalnemu gospodarstvu. To spodbuja lastništvo na naravi temelječih rešitev pri lokalnih prebivalcih in ustvarjanje novih, tudi nizkokvalificiranih delovnih mest za zmanjšanje stroškov vzdrževanja.				
Struktura stroškov	Zmanjšanje stroškov	Ustvarjanje vrednosti		
Vzpostavitev in vzdrževanje organizacijske strukture, natančneje lokalnih izvajalskih organizacij GDN, kar povzroči osnovne fiksne stroške, zlasti osebne stroške. Obstaja širok razpon morebitnih spremenljivih stroškov, kar je na primer odvisno od vrste in stopnje naložb v izvajanje na naravi temelječih rešitev, ustreznih stroškov vzdrževanja, vrste in načina financiranja itd. Ekonomije obsega: s posnemanjem postopka v različnih mestih v Evropi	Izračun izravnalnih ukrepov: zmanjšanje porabe energije za hlajenje, zajemanje CO₂ z drevesi, zmanjšanje individualne mobilnosti (in morebitno ustrezno zmanjšanje denarnih kazni za izpuste CO₂) Boljše javno zdravje in dobro počutje (ob zmanjšanju neposrednih stroškov) Izračun oportunitetnih stroškov (npr. stroški za zdravje ali denarne kazni)	Naš koncept predvideva najrazličnejše možnosti za ustvarjanje vrednosti. Predstavljamo dve inovativni smeri: Zaradi financiranja z obveznicami z učinkom/ lokalne kriptovalute in procesnih inovacij bo ustvarjen priliv prihodkov na podlagi izračunanih izravnalnih ukrepov (zmanjšanje porabe energije za hlajenje v hišah, povečanje uporabe sistemov za zadrževanje vode, zvišanje ravni javnega zdravja idr.). Zaradi novih oblik komercialnih poslovnih dejavnosti (npr. komercialnih urbanih kmetijskih sistemov na strehah in fasadah) je treba vzpostaviti nove oblike ustvarjanja vrednosti na lokalni ravni z novimi lokalnimi delovnimi mesti in novimi lokalnimi vrednostnimi verigami. Konvencionalne smeri: Javno financiranje: z našim konceptom VG 2.0 mestom omogočamo strateško, hitro in učinkovito izvajanje javnih ciljev, na primer prilagojeno mikroklimo, boljše zdravje, več delovnih mest in lokalno lastništvo. Zato menimo, da bo vse več mest uporabilo naš koncept VG 2.0 in s tem soustvarjalni programi prerezopredilo javno financiranje.		

Investicijski odhodki	Viri kapitalskih naložb
Tekoči stroški, zlasti stroški vzdrževanja, so lahko kriti večkratno, vendar so lahko razvrščeni v dve smeri: Inovativna smer: na primer prek kriptovalut in sodelovanja z javnimi organi, podobno kot koncept kulturnega žetona pri podnebno ozaveščenem delovanju prebivalcev na Dunaju (npr. pogodbeno izvajanje namakanja lokalnih dreves ali uporaba kolesa namesto avtomobila, pri čemer se vožnja spremlja prek aplikacije, da si uporabniki »prislužijo« žeton, ki ga lahko zamenjajo za ugodnosti, kot so letna vozovnica za javni prevoz, znižanje javnih najemnin itd.). Konvencionalna smer: na primer prek izvajanja konvencionalnih poslovnih modelov, kot so načini urbanega kmetijstva.	Vnaprejšnji vlagatelji, modeli vračila denarja, javno-zasebna partnerstva

VIRI IN LITERATURA

50GH (2019): *Das projekt 50 GH*. Dosegljivo na: <https://50gh.at/50-gruene-haeuser-in-favoriten/> (sneto 14. 11. 2021).

BDA (Bundesdenkmalamt) (2011): *Richtlinie: Energieeffizienz amBaudenkmal*. Bundesdenkmalamt Hofburg, Wien. Dosegljivo na: <https://bda.gv.at/de/richtlinie-energieeffizienz/> (sneto 10. 11. 2021).

BMUB (2007): *Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (National Strategy for biological diversity)*. Dosegljivo na: http://www.biologischienvielfalt.de/fileadmin/NBS/documents/broschuere_biolog_vielfalt_strategie_bf.pdf (sneto 10. 11. 2021).

BMUB (2017): *White Paper: Green Spaces in the City*. Dosegljivo na: https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/wohnen/weissbuch-stadtgruen-en.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (sneto 10. 11. 2021).

Bocken, N., in Short, S. W. (2014): Towards a sufficiency-driven business model: Experiences and opportunities. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 18, str. 41-61. DOI: 10.1016/j.eist.2015.07.010

Buchin, O., Hoelscher, M.-T., Meier, F., Nehls, T., in Ziegler, F. (2016): Evaluation of the health-risk reduction potential of countermeasures to urban heat islands. *Energy and Buildings*, 114, str. 27-37. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.06.038

BUGG (2020): *BuGG-Marktreport Gebäudegrün 2020*. Dosegljivo na: https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Marktreport/BuGG-Marktreport_Gebaeudegruen_2020_high_.pdf (sneto 10. 11. 2021).

Carè, R., Rania, F., in De Lisa, R. (2020): Critical success factors, motivations, and risks in social impact bonds. *Sustainability*, 12(18), 7291. DOI: 10.3390/su12187291

CleverCities (2021): *The Clever Cities project*. Dosegljivo na: www.clevercities.eu (sneto 13. 11. 2021).

ConnectinggNature (2021): *Financing and business models*. Dosegljivo na: <https://connectingnature.eu/financing-and-business-models> (sneto 13. 11. 2021).

Copernicus Land Monitoring Service (2021): *Imperviousness Density 2018*. Dosegljivo na: <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness/status-maps/imperviousness-density-2018> (sneto 5. 8. 2021).

Čufer, T., Ribič, P., Červek, J., Jerman, Z., in Nikšič, M. (2021): *Ozelenitev streh in vertikalnih površin: priporočila*. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor.

Dimitrovska Andrews, K., Mihelič, B., in Stanič, I. (2001): The distinct structure of the city: The case of Ljubljana, *Urbani izziv*, 12(2), str. 117-123. DOI: 10.5379/urbani-izziv-en-2001-12-02-001

DSchG Bln (1995): *Denkmalschutzgesetz Berlin*. Dosegljivo na: <https://www.berlin.de/ba-neu-koelln/politik-und-verwaltung/aemter/stadtentwicklungsamt/denkmalschutz/denkmalschutzgesetz-berlin.pdf> (sneto 5. 8. 2021).

Dugord, P.-A., Lauf, S., Schuster, C., in Kleinschmit, B., (2014): Land use patterns, temperature distribution, and potential heat stress risk – The case study Berlin, Germany. *Computers, Environment and Urban Systems*, 48, str. 86–98. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2014.07.005

Evropska komisija - Copernicus - ECMWF (2020): *Climate Data Store; Climate variables for cities in Europe from 2008 to 2017*. Dosegljivo na: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-urban-climate-cities?tab=form> (sneto 5. 8. 2021).

English heritage (2018): *Energy efficiency and historic buildings; Advice for domestic energy assessors and green deal advisors*. Dosegljivo na: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/eehb-how-to-improve-energy-efficiency/> (sneto 10. 11. 2021).

Environmental Finance (2020): *Sustainable bonds insight*. Dosegljivo na: <https://www.environmental-finance.com/pages/sustainable-bonds-insight-2020.html> (sneto 3. 8. 2021).

Evropska komisija (2013): *Zelena infrastruktura – izboljšanje evropskega naravnega kapitala*. Dosegljivo na: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d41348f2-01d5-4abe-b817-4c73e6f1b2df.0011.03/DOC_1&format=PDF (sneto 3. 8. 2021).

Evropska komisija (2020): *EU Biodiversity Strategy for 2030 Bringing nature back into our lives*. Dosegljivo na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN-BG/TXT/?from=DE&uri=CELEX-%3A52020DC0380> (sneto 3. 8. 2021).

Evropska komisija (2020): *EU Adapting to climate change - EU Strategy*. Dosegljivo na: <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12381-EU-Strategy-on-Adaptation-to-Climate-Change/public-consultation> (sneto 3. 8. 2021).

Evropska komisija (2021): *Evaluating the impact of Nature-based Solutions: a handbook for practitioners*. Dosegljivo na: https://ec.europa.eu/info/news/evaluating-impact-nature-based-solutions-handbook-practitioners-2021-may-06_en (sneto 13. 11. 2021).

FLL (2018): *Fassadenbegrünungsrichtlinien – Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Wand- und Fassadenbegrünungen*. Dosegljivo na: <https://shop.fll.de/de/fassadenbegruenungsrichtlinien-richtlinien-fuer-die-planung-bau-und-instandhhtml> (sneto 5. 8. 2021).

Forslund, L. (2020a): *Urban Atlas 2018 — Copernicus Land Monitoring Service*. Dosegljivo na: <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2018> (sneto 3. 8. 2021).

Forslund, L. (2020b): *Street Tree Layer (STL) 2018 — Copernicus Land Monitoring Service*. Available at: <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/street-tree-layer-stl-2018> (sneto 3. 8. 2021).

Goldman Sachs (2021): *Fact sheet: DC Water Environmental Impact Bond*. Dostopno na: <https://www.goldmansachs.com/media-relations/press-releases/current/dc-water-environmental-impact-bond-fact-sheet.pdf> (sneto 13. 11. 2021).

Hansen R., van Lierop, M., Rolf, W., Gantar, D., Šuklje Erjavec, I., Lorance Rall, E., in Pauleit, S. (2021): Using green infrastructure to stimulate discourse with and for planning practice: experiences with fuzzy concepts from a pan-European, a national and a local perspective. *Socio-Ecological Practice Research*, 3, str. 257–280. DOI: 10.1007/s42532-021-00087-2

Kozamernik, J. (2020): Green walls: shaping urban communication. V: Berlingeri, F. (ur.): *Comparison: conference for artistic and architectural research: book of proceedings of the CA2RE online conference*, 28th–30th October 2020, Milano, str. 155–163. Milano, Politecnico di Milano.

Land Berlin (2015): *Planning Advice – Urban climate 2015*. Dosegljivo na: https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/Planungshinweise_StadtklimaBerlin_2015.pdf (sneto 27. 10. 2021).

Land Berlin (2021): *BFF – Biotopflächenfaktor*. Dosegljivo na: <https://www.berlin.de/sen/uvk/en/nature-and-green/landscape-planning/baf-biotope-area-factor/> (sneto 10. 11. 2021).

Lundgren, K., Kuklane, K., Gao, C., in Holmér, I. (2013): Effects of heat stress on working populations when facing climate change. *Ind Health*, 51, str. 3–15. DOI: 10.2486/indhealth.2012-0089

Mestna občina Ljubljana (2010): *Odlok o občinskem prostorskem načrtu mestne občine Ljubljana – strateški del*. Dosegljivo na: <https://www.ljubljana.si/assets/OPN-MOL/2010-78-4263-NPB9.pdf> (sneto 5. 8. 2021).

Ministrstvo za infrastrukturo Republike Slovenije in Ministrstvo za kulturo Republike Slovenije (2016): *Smernice za energetsko prenovo stavb kulturne dediščine*. Dosegljivo na: https://www.gov.si/assets/ministrstva/MK/DEDISCINA/NEPREMICNA/smernice_kd-final.pdf (sneto 10. 11. 2021).

Naturvation (2021): *Urban nature atlas*. Dosegljivo na: <https://naturvation.eu/atlas> (sneto 14. 11. 2021).

Oudin Åström, D., Bertil, F., in Joacim, R. (2011): Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: A review of recent studies. *Maturitas*, 69, str. 99–105. DOI: 10.1016/j.maturitas.2011.03.008

Pesaresi, M., Florczyk, A., Schiavina, M., Melchiorri, M., in Maffneni, L., (2019): *GHS settlement layers, updated and refined REGIO model 2014 in application to GHS-BUILT R2018A and GHS-POP R2019A, multitemporal (1975-1990-2000-2015)*. European Commission, Joint Research Centre (JRC) [Dataset]. DOI: 10.2905/42E8BE89-54FF-464E-BE7B-BF9E64DA5218

QGIS 3.16 (2021): 24.1.4.1 *Heatmap (kernel density estimation)*. Dosegljivo na: https://docs.qgis.org/3.16/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/interpolation.html (sneto: 10. 11. 2021).

Raymond, C. M., Frantzeskaki, N., Kabisch, N., Berry, P., Breil, M., Razvan Nita, M., idr. (2017): A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environmental Science & Policy*, 77, str. 15–24.

DOI: 10.1016/j.envsci.2017.07.008. <https://naturvation.eu/atlas>

Ring Z., Damyanovic, D., in Reinwald F. (2021): Green and open space factor Vienna: A steering and evaluation tool for urban green infrastructure. *Urban Forestry & Urban Greening*, 62.

DOI: 10.1016/j.ufug.2021.127131

Rösch, E. (v tisku): *Monument protection as a limiting factor for large scale facade greenery implementation to counteract indoor heat stress – a GIS-based analysis for Berlin, Germany.*

SenUVK (2016): *Klimafolgenmonitoring des Landes Berlin*. Sachstandsbericht 2016. Berlin.

SenUVK (2018). *Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (BEK 2030)*. Berlin.

Smaniotto Costa, C., idr. (2008): *GreenKeys @ your city: a guide for urban green quality*. Dresden, Leibniz Institute of Ecological and Regional Development.

Stadt Berlin (2011): *Stadtentwicklungsplan Klima* (City Development Plan Climate). Dosegljivo na: https://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/download/klima/step_klima_broschuere.pdf (sneto 10. 11. 2021)

Stadt Wien (2015): *Step 2025 Thematic concept: Green and open spaces*. Dosegljivo na: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/boo8439.pdf> (sneto 13. 11. 2021).

Stadt Wien (2019): *Leitfaden zur Fassadenbegrünung*. Dosegljivo na: <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/fassadenbegruenung.html> (sneto 14. 11. 2021).

Stadt Wien (2021a): *Räumliche Entwicklung*. Dosegljivo na: <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/> (sneto 13. 11. 2021).

Stadt Wien (2021b): *Wien Umweltgut: Naturschutz*. Dosegljivo na: <https://www.wien.gv.at/umweltgut/public/grafik.aspx?ThemePage=1> (sneto 14. 11. 2021).

Stadt Wien (2021c): *Checkliste für die erforderlichen Genehmigungen von Fassadenbegrünungen (Guideline for administrative steps and permissions for VG)*. Dosegljivo na: <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/behoerdencheck.pdf> (sneto 5. 8. 2021).

Stadt der Zukunft (2020): *Green Market report Kompakt*. Dosegljivo na: <https://nachhaltig-wirtschaften.at/de/sdz/news/2020/green-market-report.php> (sneto 13. 11. 2021).

The European green roof and wall market research initiative (2020): *Green Market Report; Nature based solutions & green infrastructure – quo vadis?* Dosegljivo na: <https://greenmarketreport.eu/en/green-market-report/> (sneto 13. 11. 2021).

Tiran, J., Bole, D., in Kumer, P. (2016): Morfološka tipologija stanovanjskih območij v Ljubljani, *Geografski vestnik*, 88(1), str. 37–64. DOI: 10.3986/GV88103

Umweltatlas (2015): *Urban structure - area types differentiated; Map description*. Dosegljivo na: <https://www.berlin.de/umweltatlas/en/land-use/urban-structure/2015/map-description> (sneto 5.8.2021).

Umweltatlas (2021): *Umweltatlas Berlin*. Dosegljivo na: <https://www.berlin.de/umweltatlas/> (sneto 5. 8. 2021).

World Green Infrastructure Network (2021): *Home*. Dostopno na: <https://worldgreeninfrastructurenetwork.org/> (sneto 11. 11. 2021).

ZVKDS (Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije) (2015): *Nasveti za lastnike*. Dosegljivo na: <https://www.zvkds.si/sl/clanek/nasveti-za-lastnike> (sneto 10. 11. 2021).

ISBN 978-961-6390-64-4

